ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 4 (88), 2026

Группы специальностей:

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

Волгоград
Волгоградский ГАУ
2026

PROCEEDINGS

OF NIZHNEVOLZSKIY AGROUNIVERSITY COMPLEX:

SCIENCE AND HIGHER VOCATIONAL EDUCATION

№ 4 (88), 2026

Groups of specialties:

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

Volgograd
Volgograd State Agrarian University
2026

ББК 4 (2Рос–4Вог)
И-33

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА
ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет

ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485

№ 4 (88), 2026

Группы специальностей:

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

ИЗВЕСТИЯ

Нижневолжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование

№ 4 (88), 2026

В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 19.02.2010 г. № 686 журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.
Журнал индексируется в международных информационных системах **Web of Science (RSCI), Agricultural Research Information System (AGRIS).**
Официальный партнер международной организации ***DOI Foundation (IDF),*** международной Ассоциации ***Publishers International Linking Association (PILA),*** международного регистрационного агентства ***CrossRef.***

Главный редактор:
Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники
Заместители главного редактора:
Фомин С.Д., доктор технических наук, зав. Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, Волгоградский ГАУ
Рядnов 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

ББК 4 (2Рос–4Вог)
И-33

THE MAGAZINE FOUNDER
Volgograd State
Agrarian University

ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485

№ 4 (88), 2026

Specialty groups:

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

PROCEEDINGS

of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex:
science and higher vocational education

№ 4 (88), 2026

According to the decision of Presidium of Higher certifying commission of Ministry of Education and science of Russia in 19.02.2010 № 686 the magazine was included into the list of leading peer-reviewed journals and issues where candidate and doctoral degree thesis basic scientific results can be published.
The journal is indexed in the International Information Systems **Web of Science (RSCI), Agricultural Research Information System (AGRIS**). Official partner of the International Organization **DOI Foundation (IDF), The Publishers International Linking Association (PILA),** and The International Registration Agency **CrossRef**

Editor-in-Chief:
Gorlov I.F., Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products
Deputy Editors in Chief:
Fomin S.D., Doctor of Technical Sciences, Head. Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University
Ryadnov A.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University
Bocharnikov V.S., Doctor of Technical Sciences, **Corresponding Member of RAS**, Scientific Secretary, Volgograd State Agrarian University
Shaprov M.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University

Международный редакционный совет научного журнала

Главный редактор:



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

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

Заместители главного редактора:



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

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



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

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



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

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



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

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

Академический состав редакционного совета

Председатель редакционного совета:



Чекмарев П.А., академик РАН, заместитель президента РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции земледелия, мелиорации, водного и лесного хозяйства,
действительный государственный советник Российской Федерации 2 класса, Заслуженный работник сельского хозяйства Российской Федерации, доктор сельскохозяйственных наук
Chekmarev P.A., Academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy President of the Russian Academy of Sciences, Member of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Agriculture, Land Reclamation, Water and Forestry, Full State Adviser of the Russian Federation, 2nd Class, Honored Worker of Agriculture of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences

Заместители председателя редакционного совета:



Лобачевский Я.П., академик РАН, академик-секретарь отделения сельскохозяйственных наук, член президиума РАН, член бюро отделения ОСХН, член секции механизации, электрификации и автоматизации, заместитель председателя Координационного совета Южной ассоциации научных организаций под научно-методическим руководством РАН, член Научно-издательского совета РАН, член Экспертного совета РАН, член Межакадемического совета по проблемам развития Союзного государства (российская часть), член Кадровой комиссии президиума РАН, член Комиссии РАН по мониторингу и оценке результатов деятельности научных и образовательных организаций высшего образования Российской Федерации, член Экспертной комиссии по Большой золотой медали РАН имени М. В. Ломоносова, член Комиссии РАН по экспертизе федеральных государственных образовательных стандартов и учебников
Lobachevsky Ya.P., Academician of the Russian Academy of Sciences, Academician-Secretary of the Department of Agricultural Sciences, member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, member of the Bureau of the Department of Agricultural Sciences, member of the Section of Mechanization, Electrification and Automation, Deputy Chairman of the Coordinating Council of the Southern Association of Scientific Organizations under the Scientific and Methodological Guidance of the Russian Academy of Sciences, member of the Scientific Publishing Council of the Russian Academy of Sciences, member of the Expert Council of the Russian Academy of Sciences, member of the Interacademic Council for the Development of the Union State (Russian part), member of the Personnel Commission of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Member of the RAS Commission for Monitoring and Evaluating the Performance of Scientific and Educational Organizations of Higher Education in the Russian Federation, member of the Expert Commission for the Lomonosov Grand Gold Medal of the Russian Academy of Sciences, member of the RAS Commission for the Examination of Federal State Educational Standards and Textbooks



Дорохов А.С., академик РАН, заместитель академика-секретаря отделения сельскохозяйственных наук, заместитель академика-секретаря Бюро ОСХН, руководитель секции механизации, электрификации и автоматизации, член Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, член комиссии РАН по анализу статуса звания «Профессор РАН» и Положения о звании «Профессор РАН», доктор технических наук, первый заместитель директора, ФНАЦ ВИМ
Dorokhov A.S., Academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy Academician-Secretary of the Department of Agricultural Sciences, Deputy Academician-Secretary of the OSH Bureau, Head of the Section of Mechanization, Electrification and Automation, member of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Materials and Nanomaterials, member of the RAS Commission for the analysis of the status of the title "Professor of the Russian Academy of Sciences" and the Regulations on the title "Professor of the Russian Academy of Sciences", Doctor Candidate of Technical Sciences, First Deputy Director, FNAC VIM

Члены академического редакционного совета:



Балакирев Н.А., академик РАН, член отделения сельскохозяйственных наук, член секции зоотехнии и ветеринарии, доктор сельскохозяйственных наук, МВА 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, МВА 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



Кощаев 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»

Chernukha I.M., 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. Gorbatov 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

Yuldashbaev Yu.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, 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 агробиотехнологий, 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	*Semenenko S.Ya.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, VNIIOZ
Филин В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Filin V.I.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (сельскохозяйственные науки)	**4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (agricultural sciences)**
Тютюма Н.В., **член-корреспондент РАН, профессор РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, директор ПАФ НЦ РАН	*Tyutyuma N.V.*, **corresponding member of RAS, Professor of RAS**, Doctor of Agricultural Sciences, Director of PAF SC RAS
Петров Н.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Petrov N.Yu.,* Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Ахмедов А.Д., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Akhmedov A.D.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Ходяков Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Khodyakov E.A.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Чамурлиев О.Г., доктор сельскохозяйственных наук, директор НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий, Волгоградский ГАУ	*Chamurliev O.G.*, Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Research Institute of Fundamental and Applied Agrobiotechnologies, Volgograd State Agrarian University
4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (сельскохозяйственные науки)	**4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (agricultural sciences)**
Овчинников А.С., **академик РАН**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Ovchinnikov A.S.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Volgograd State Agrarian Universityв
Дубенок Н.Н., **академик РАН**, член бюро отделения **РАН**, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева	*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
Кулик К.Н., **академик РАН**, Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ Агроэкологии РАН)	*Kulik K.N.*, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Federal Research Centre of Agroecology, amelioration and protective afforestation RAS
Ходяков Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Khodyakov E.A.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Проездов П.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский ГАУ	*Proezdov P.N.,* Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State Agrarian University
4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки)	**4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics (technical sciences)**
Лихацевич А.П., **член-корреспондент Национальной академии Беларуси**, доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт мелиорации (Республика Беларусь)	*Likhatsevich A.P.,* **Corresponding Member, National Academy of Belarus**, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Land Reclamation (Belarus)
Бочарников В.С., доктор технических наук, **член-корреспондент РАН,** Ученый секретарь, Волгоградский ГАУ	*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	*Vasiliev S.M.*, Doctor of Technical Sciences, Russian Research Institute for Problems of Land Reclamation
Ахмедов А.Д., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Akhmedov A.D.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Пахомов А.А., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Pakhomov A.A.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки)	**4.1.6 Forest science, silviculture, agroforestry, landscaping, forest pyrology and inventory (agricultural sciences)**
Кулик К.Н., **академик РАН**, Федеральный научный центр агроэкологии, мелиорации и защитного лесоразведения РАН (ФНЦ Агроэкологии РАН)	*Kulik K.N.*, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Federal Research Centre of Agroecology, amelioration and protective afforestation RAS
Иванцова Е.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института естественных наук, ФГАО ВО ВолГУ	*Ivantsova E.A*., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University
Кулик А.К., кандидат сельскохозяйственных наук, ФНЦ Агроэкологии РАН	*Kulik A.K.,* Candidate of Agricultural Sciences, National Science Center of Agroecology RAS
Проездов П.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский ГАУ	*Proezdov P.N.,* Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Saratov State Agrarian University
Подковыров И.Ю., доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский НИИ фитопатологии, г. Москва	*Podkovyrov I.Yu.*, Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow
4.2. Зоотехния и ветеринария	**4.2. Animal science and veterinary medicine**
4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки)	**4.2.1. Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology (veterinary sciences)**
Племяшов К.В., **член-корреспондент РАН**, доктор ветеринарных наук, ректор ФГБОУ ВО «СПбГУВМ», г. Санкт-Петербург	*Plemyashov K.V.,* **Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of St. Petersburg State University of Veterinary Medicine
Стекольников А.А., **академик РАН,** доктор ветеринарных наук, профессор, ФГБОУ ВО «СПбГУВМ», г. Санкт-Петербург	*Stekolnikov A.A.,* Doctor of Veterinary Sciences, Professor, **Academician of the Russian Academy of Sciences**, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine
Ятусевич А.И., **академик РАН,** доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь)	*Yatusevich A.I.*, **Academician of RAS,** Doctor of Veterinary Sciences, Rector of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Belarus)
Рыжкова Г.Ф., доктор биологических наук, профессор, Курская ГСХА им. Иванова И.И.	*Ryzhkova G.F.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kurgan State Agricultural Academy named after Ivanova I.I
Рядnов 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
Баймишев Х.Б., доктор биологических наук, профессор, Самарский ГАУ	*Baimishev Kh.B.,* Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara GAU

Ряднова Т.А., кандидат биологических наук, доцент, Волгоградский ГАУ	*Ryadnova T.A.,* Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University
4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)	**4.2.2. Sanitation, hygiene, ecology, veterinary and sanitary expertise and biosafety (veterinary sciences)**
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
Злепкин Д.А., доктор биологических наук, Волгоградский ГАУ	*Zlepkin D.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины	*Sukhinin A.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine
4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки)	**4.2.3. Infectious diseases and animal immunology (veterinary sciences)**
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
Сухинин А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины	*Sukhinin A.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine
Ятусевич А.И., **академик РАН**, доктор ветеринарных наук, ректор Витебской государственной академии ветеринарной медицины (Республика Беларусь)	*Yatusevich A.I.*, **Academician of RAS**, Doctor of Veterinary Sciences, Rector of Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine (Belarus)
Сашнина Л.Ю., доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией иммунологии, Всероссийский НИ ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии РАН	*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. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки)	**4.2.4. Private zootechnics, feeding, feed and livestock production technologies (agricultural sciences)**
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	*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
Мосолов А.А., доктор биологических наук, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции	*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	*Varakin A.T.,* Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Натыров А.К., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, декан аграрного факультета Калмыцкого государственного университета	*Natyrov A.K.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Dean of the Agrarian Faculty of Kalmyk State University
Сложенкина 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
Чамурлиев Н.Г., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Chamurliev N.G.*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd Agrarian State University
4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки)	**4.2.4. Private animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products (biological sciences)**
Сизова Е.А., доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, зам. директора по научной работе	*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
Злепкин Д.А., доктор биологических наук, профессор, Волгоградский ГАУ	*Zlepkin D.A.,* Doctor of Biological Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University
Мосолова Н.И., доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции	*Mosolova N.I.,* Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products
Арылов Ю.Н., доктор биологических наук, профессор, Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова	*Arylov Yu.N.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University
Дускаев Г.К., доктор биологических наук, профессор РАН, первый заместитель директора, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН	*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
Шлыков С.Н., доктор биологических наук, профессор, Ставропольский государственный аграрный университет	*Shlykov S.N.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Stavropol State Agrarian University
4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки)	**4.2.5. Breeding, Selection, Genetics and Animal Biotechnology (Agricultural Sciences)**
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	*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	*Chekhodaridi 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, профессор, Волгоградский ГАУ	*Randelin D. A*, Doctor of Biological Sciences, Volgograd State Agrarian University
Сложенкина 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, профессор, Волгоградский ГАУ

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

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

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

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

Рядnов 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, Ryazan 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

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

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

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. 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, Ученый секретарь Астраханский ГТУ

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

4.3.3. Food systems (biological sciences)

Chernukha I.M., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Technical Sciences, Professor, V. M. Gorbatov 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

© ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2026

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

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

THE SHIRAY RIVER CATCHMENT AGRICULTURAL AND FORESTRY AND LAND RECLAMATION IN THE VOLGOGRAD REGION

Kulik K. N., Istomin S. A., Archakov D. I., Lebedeva T. N.

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

Corresponding author E-mail: istomin-s@vfanc.ru

Received 10.02.2026 Submitted 15.04.2026

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

Summary

This article presents the results of agroforestry research into the Shiryai river watershed. It was found that water erosion is prevalent in the agricultural lands of this area, and the creation of protective forest planting systems is proposed to prevent this. A map of the location of runoff-regulating and ravine forest belts was also developed.

Abstract

Introduction. Currently, large areas of the European part of Russia are used as arable lands that are susceptible to erosion and deflation, while insufficient shelterbelt forest cover and the poor condition of protective forest plantations (PFPs) do not prevent the development of these processes. Volgograd Oblast is an agricultural region, in the central part of which lies the Shiryai River catchment area, where the problem of agricultural landscape degradation is relevant. **Object.** The object of the study is the agricultural landscapes of the Shiryai River catchment area. **Materials and methods.** The study is based on a technology scheme for working with satellite images (SI) in agroforestry, which is a combination of methods. **Results and discussion.** The Shiryai River catchment area with an area of 61,394.3 hectares was identified. Two landscape-ecological profiles with a length of over 10 km were laid. It was established that most of the profiles were dominated by arable land with an average slope of 1-2°. Partial loss of *Fraxinus pennsylvanica* Marshall was noted in the forest belts. During the extrapolation stage, the KS was deciphered, revealing that arable land occupied 60.8 % of the catchment area, with total forest cover amounting to 6.2 % and shelterbelt cover amounting to 1.5 %. Landscape belts were identified within the fields, a significant portion of which were located near watersheds (77.6 %) and along river drainage networks (15.1 %). Due to the long slopes (>2 km), erosion processes develop. To prevent this, it is recommended to create PFPs systems that take into account the terrain and consist of runoff-regulating and ravine forest belts. The mixture of runoff-regulating forest belts consists of edge rows of shrubs (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.) and two rows of the main species (*Quercus robur* L., и *Larix sibirica* Ledeb.). Potential soil loss calculations indicate that the distance between belts should be 350 m. Gully forest belts are proposed to be placed along gully edges where necessary. The mixture consists of one row of shrubs (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.), followed by two rows of the main species (*Quercus robur L. u Pyrus communis* subsp. pyraster (L.) Ehrh) and associated species (*Acer tataricum* L. *u Ulmus laevis* Pall.). An optimal agroforestry management plan for the area is proposed. As a result of the proposed measures, the total area of forest belts will increase by 148 %, and the optimal shelterbelt forest cover will be 3.8 %.

Keywords: *river basins, arable land, landscape and ecological profiling, and water erosion.*

Citation. Kulik K. N., Istomin S. A., Archakov D. I., Lebedeva T. N. The Shiray river catchment agricultural and forestry and land reclamation in the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 16-29 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-01.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 631.459:630*266

АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОЕ ОБУСТРОЙСТВО АГРОЛАНДШАФТОВ ВОДОСБОРА РЕКИ ШИРЯЙ В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Кулик К. Н., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник*
Истомин С. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник*
Арчаков Д. И., *кандидат географических наук, младший научный сотрудник*
Лебедева Т. Н., *младший научный сотрудник*

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

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

Актуальность. В настоящее время на ЕТР значительные территории используются в качестве пахотных угодий, которые подвержены эрозии и дефляции, а недостаточная полезащитная лесистость и неудовлетворительное состояние защитных лесных насаждений (ЗЛН) не предотвращают развитие данных процессов. Волгоградская область является одним из аграрных регионов, в центральной части которой находится водосбор р. Ширяй, где актуальна проблема деградации агроландшафтов. **Объект.** Объект исследования – агроландшафты водосборного бассейна р. Ширяй. **Материалы и методы.** В основу исследования положена схема технологии работ с космическими снимками (КС) в агролесомелиорации, которая представляет собой сочетание методик. **Результаты и обсуждение.** Выделен водосборный бассейн р. Ширяй площадью 61394,3 га. Проложены два ландшафтно-экологических профиля протяженностью более 10 км. Установлено, что на большей части профилей преобладали пахотные угодья со средним уклоном 1-2°. В лесных полосах отмечено частичное выпадение *Fraxinus pennsylvanica* Marshall. На этапе экстраполяции выполнено дешифрирование КС, в результате которого установлено, что пахотные угодья занимали 60,8 % водосборного бассейна, общая лесистость составляла 6,2 %, а полезащитная 1,5 %. В пределах полей выделены ландшафтные полосы, значительная часть которых относится к приводораздельной (77,6 %) и присетевой (15,1 %). Из-за большой протяженности склонов (> 2 км) происходит развитие эрозионных процессов, для предотвращения которых рекомендуется создавать системы ЗЛН с учетом рельефа местности, которые будут состоять из стокорегулирующих и прибалочных лесных полос. Тип смешения стокорегулирующих лесных полос: опушечные ряды кустарник (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.) и два ряда главной породы (*Quercus robur* L., и *Larix sibirica* Ledeb.). По результатам расчета потенциального смыва почвы установлено, что межполосное расстояние должно составлять 350 м. Прибалочные лесные полосы предлагается размещать вдоль балок, где это необходимо. Тип смешения следующий: один ряд кустарники (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.), за которым по два ряда главных (*Quercus robur L. u Pyrus communis* subsp. pyraster (L.) Ehrh) и сопутствующих пород (*Acer tataricum* L. *u Ulmus laevis* Pall.). Предложена схема оптимального агролесомелиоративного обустройства территории. В результате предлагаемых мероприятий общая площадь лесных полос увеличится на 148 %, а оптимальная полезащитная лесистость будет составлять 3,8 %.

Ключевые слова: *водосборы рек, пахотные угодья, ландшафтно-экологическое профилирование, водная эрозия.*

Цитирование. Кулик К. Н., Истомин С. А., Арчаков Д. И., Лебедева Т. Н. Агролесомелиоративное обустройство агроландшафтов водосбора реки Ширяй в Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 16-29. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-01.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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 ЕТР значительные территории активно используются в сельском хозяйстве. Интенсификация сельскохозяйственного производства и низкая полезащитная лесистость не предотвращает развитие процессов эрозии и дефляции, что влечет за собой снижение урожайности и устойчивости агроландшафтов. Для замедления темпов деградации разрабатываются и внедряются комплексные природоохранные мероприятия, наибо-

лее эффективным из которых является создание завершенных систем защитных лесных насаждений (ЗЛН) [1-6]. В настоящее время на многих территориях параметр полезащитной лесистости значительно ниже научно обоснованного, а существующие ЗЛН в полной мере не выполняют своих функций из-за естественного старения, отсутствия лесоводственного ухода, пожаров, развития болезней, повреждения вредителями и т. д. В последние десятилетия новые лесные полосы практически не создаются, а те, которые закладываются, в основном носят фрагментарный характер [7-9].

Экономически эффективной отраслью производства в Волгоградской области является сельское хозяйство [10]. В настоящее время на территории региона дефляции подвержены 2,0 млн га сельхозугодий, а водной эрозии – 1,5 млн га (Стратегия развития защитного лесоразведения… Беляев и др. 2023) [9]. Типичным участком центральной части области, вовлеченным в сельскохозяйственный оборот и подверженным процессам деградации, является территория водосборного бассейна р. Ширяй. Данная территория относится к сухостепному, возвышенному, суглинистому, темно-каштановому и каштановому агроландшафтному району, к первой типологической группе междуречных эрозионно-денудационных возвышенных и низменных равнин. На данной территории размещение лесных полос должно осуществляться только с учетом рельефа местности (стокорегулирующие и прибалочные) (Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Волгоградской области, Кулик и др., 2024).

Цель исследования – оценить состояние агроландшафтов водосборного бассейна р. Ширяй и разработать предложения агролесомелиоративных мероприятий.

Материалы и методы. Территорией исследования являлся водосбор р. Ширяй, который расположен в центральной части Волгоградской области (в пределах Иловлинского, Ольховского и Фроловского муниципальных районов). По территории протекает р. Ширяй – правый приток р. Иловля протяженностью 42 км (Родники и реки… Брылев и др., 2007). Согласно агроклиматическому районированию, водосбор относится к центральному сухостепному району. По данным А. Н. Сажина и др. (2017), среднегодовая температура воздуха в п. Иловля составляет 6,9 °С. Самый теплый месяц – июль (23 °С), самый холодный – январь (-9,5 °С). Среднегодовая сумма осадков составляет 385 мм. Сумма активных температур – 2900-3100 °С. Гидротермический коэффициент Селянинова – 0,6 (Погода и климат… Сажин, 2017). Почвенный покров представлен темно-каштановыми и каштановыми почвами (Почвы Волгоградской области, Дегтярева, Жулидова, 1970). В пределах данного водосбора травянистая растительность располагается на небольших целинных участках и представлена дерновинно-злаковой степью (Степеведение, Рябинина, 2014).

Для достижения поставленной цели использовалась усовершенствованная 5-этапная схема работ с космическими снимками (КС) в агролесомелиорации (Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая… Кулик, 2004).

Первый этап – предварительное дешифрирование на основе цифровой модели рельефа, полученной с помощью радарного спутникового снимка SRTM и композитного изображения (RGB). В программе QGIS была выделена территория водосборного бассейна р. Ширяй. Проведен предварительный анализ и составлен план полевых работ.

Второй этап – полевое эталонирование. Он основывался на построении ландшафтно-экологических профилей, отражающих сочетания наиболее типичных элементов ландшафта водосбора. Для описания основных форм и элементов рельефа было проведено нивелирование местности. С целью изучения почвенных особенностей водосбора по линиям профилей выполнено бурение скважин и заложены почвенные разрезы (Полевой определитель почв…, 2008). Растительный покров был описан согласно методическим рекомендациям (Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического обследования.., 1984). Также отдельно проводилось изучение ЗЛН на пробных площадках 625 м^2 (Лесные мелиорации, Лисенков, 1971).

Третий этап – экстраполяция. На основе второго этапа проведено дешифрирование КС Sentinel-2 за 2024 г. путем расчета NDVI, а также ручной корректировки. Для оценки антропогенного воздействия определялись территории, используемые в хозяйственной деятельности (селитебные территории и пахотные угодья). Выполнен расчет общей (1) и полезащитной (2) лесистости:

$$Кл = \frac{S_л}{S_п} \quad (1)$$

$$Кп = \frac{Sлп}{Sпу} \quad (2)$$

где: Кл – общая лесистость; Кп – полезащитная лесистость; Sл – общая площадь лесов, га; Sп – площадь территории исследования, га; Sлп – площадь лесных полос, га; Sпу – площадь пахотных угодий, га.

С целью изучения потенциального развития эрозионных процессов выделены ландшафтные полосы и выполнен анализ пахотных угодий по степени эродированности почвы (таблица 1).

Таблица 1 – Критерии выделения ландшафтных полос
(Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное..., Кочетов и др., 1999)
Table 1 – Criteria for the allocation of landscape strips (Agroforestry adaptive landscape, Kochetov et al., 1999)

Ландшафтные полосы / Landscape strips	Крутизна, град / Steepness, degrees	Степень эродированности почвы / Degree of soil erosion
Водораздельная / Watershed	0-0,5	нет / no
Приводораздельная / Dividing line	0,5-3	Слабая / Weak
Присетевая / River-network	3-7	Средняя, сильная / Medium, strong
Гидрографическая / Hydrographic	7-45	Средняя сильная, очень сильная / Medium strong, very strong

Для дальнейшего составления предложения по оптимальному размещению систем ЗЛН рассчитывался слой стока талых вод. Для этого в программе QGIS на основе SRTM в пределах пахотных угодий строились горизонтали (10 м) и линии тока от водораздела до тальвега с определением их общей протяженности.

Расчет потенциального смыва почвы выполнялся в соответствии с методическими рекомендациями по формулам 3 и 4 (Методика полевого моделирования эрозии…, Гаршинев и др., 1991). Полученные значения смыва были соотнесены с предельным допустимым для темно-каштановых и каштановых почв (1,5 т/га на 350 м). В случае превышения допустимого смыва определялось его расстояние по линии тока и устанавливалось оптимальное межполосное пространство по формуле 5. Если превышение зафиксировано на дистанции более 350 м по линии, то промежуток между стокорегулирующими лесными полосами равняется расстоянию, утвержденному в методике (350 м) (Методика полевого моделирования эрозии…, Гаршинев и др., 1991).

$$W = \varphi[K]h^{0,95}I^{1,5}L \quad (3)$$

$$[K] = Кт * Км * Кэ \quad (4)$$

$$L = (Ld + Lb) \leq Lc \leq Lp \quad (5)$$

где W – потенциальный смыв, т/га; [K] – произведение коэффициентов, учитывающих влияние на смыв почвенных условий; φ – коэффициент размерности и пропорциональности; h – средний поверхностный сток талых вод с пахотных угодий; I – тангенс угла наклона; L – протяженность профиля, м; Кт – коэффициент относительной податливости почвы различных типов и подтипов; Км – коэффициент влияния гранулометрического состава почв на их относительную податливость эрозии; Кэ – коэффициент, характеризующий влияние степени смытости почвы на их относительную податливость эрозии; L – расстояние между лесными полосами, м; Ld – длина отрезков склона, на каждом из которых текущий смыв достигает допустимой величины, м; Lb – суммарная ширина прилегающих к верхней и нижней опушкам лесополосы поясов, в пределах которых темпы восстановления почвенного плодородия превышают темпы смыва, м; Lc – расстояние между основными лесными полосами с учетом уменьшения дальности их ветрорегулирующего влияния на склонах, м; Lp – расстояние между основными лесными полосами на территории с отсутствием эрозии и эрозией, не превышающих допустимых величин, м.

Четвертый этап – полевой контроль. В рамках его выполнения совершен дополнительный выезд на территорию исследования к местам, вызвавшим трудности при экстраполяции. Также для определения состояния и породного состава проведено дополнительное описание лесных полос.

Пятый этап – итоговое картографирование. На данном этапе была предложена схема агролесомелиоративного обустройства территории водосбора. Размещение лесных полос на полигонах исследования проводилось в программе QGIS (рисунок 1) (Агролесомелиоративное картографирование… Истомин, 2025).



Рисунок 1 – Схема работ по размещению лесных полос
Figure 1 – Scheme of work on the placement of forest belts

На основе данных полевых исследований и проводимых работ на территориях со схожими фитоэкологическими условиями определялись тип смешения и породный состав ЗЛН.

Результаты и их обсуждение. Водосборный бассейн занимает 61394,3 га (рисунок 2). В центральной части с севера на юг протекает р. Ширяй, которая разделяет территорию исследования на левобережную и правобережную части. Населенные пункты расположены преимущественно в пойме, значительные территории занимают пахотные угодьях, на которых располагаются ЗЛН. Почвенный покров неоднороден – присутствуют участки, где на поверхность выходят меловые отложения. В рамках предварительного анализа выделены линии ландшафтно-экологических профилей в северной и южной частях водосбора.



Рисунок 2 – Территория исследования
Figure 2 – Study area

В рамках полевого эталонирования заложены два ландшафтно-экологических профиля «Южный» и «Северный» протяженностью 4,8 и 5,7 км соответственно (рисунок 3). В ходе выполнения работ установлено, что на профиле «Южный» склоны, в основном, очень пологие (1-2°), но при этом правобережная часть имеет больший уклон (1,5-2,5°). На про-

филе «Северный» склоны правобережной части пологие (2-3°), а левобережной – очень пологие (1-1,5°). На протяжении обоих маршрутов преобладали пахотные угодья, которые занимали более 50 % (более 2 км). Выход меловых отложений зафиксирован преимущественно в левобережной части р. Ширяй.

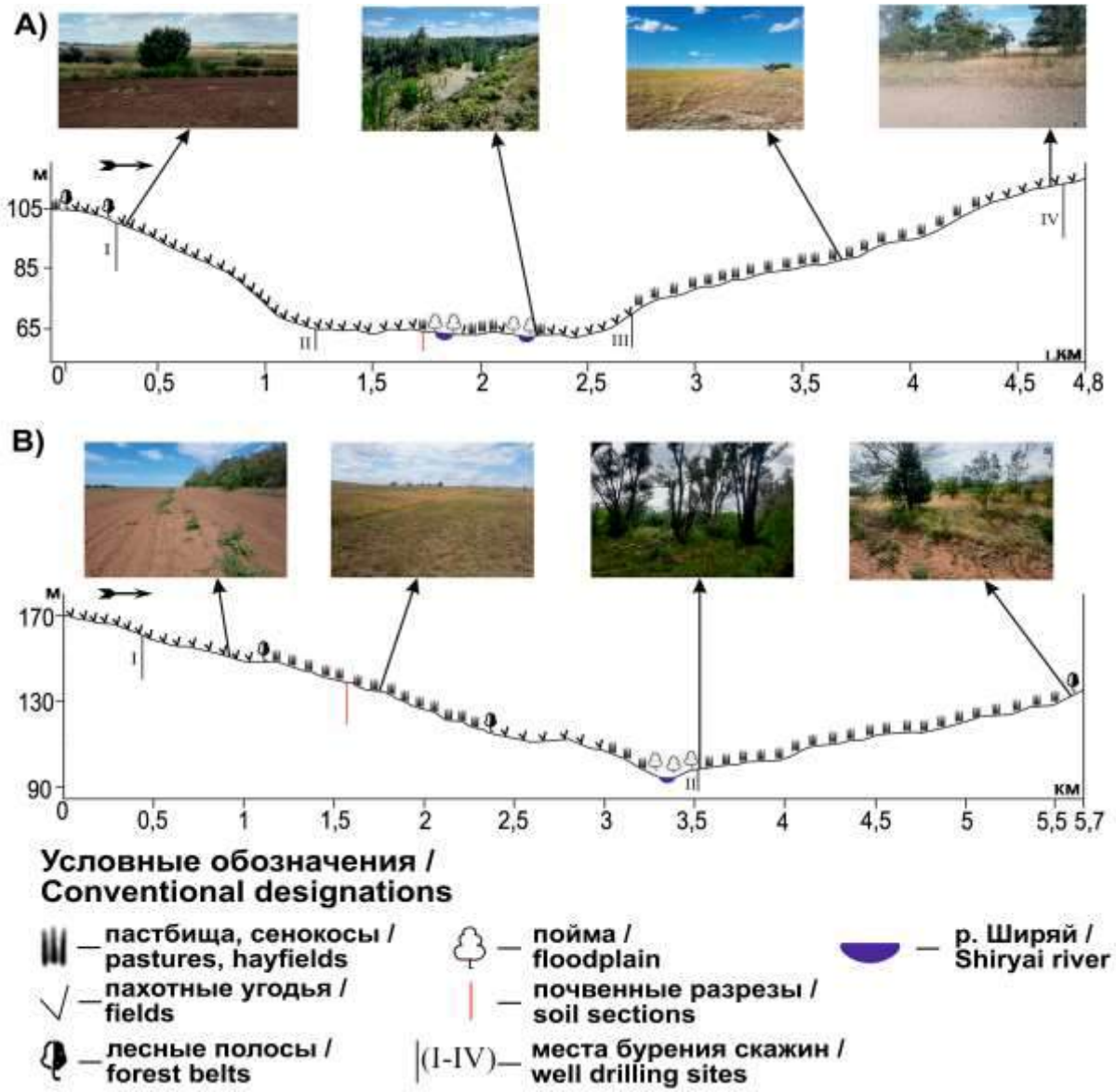


Рисунок 3 – Ландшафтно-экологические профили
А) – ландшафтно-экологический профиль «Южный»;
В) – ландшафтно-экологический профиль «Северный»
Figure 3 – Landscape-ecological profiles
A) – Landscape-ecological profile "Southern"; B) – Landscape-ecological profile "Northern"

Растительный покров на степных участках состоял из пырея ползучего (*Elytrigia repens* L.), молочая (*Euphorbia* L.), типчака (*Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin), ковыля (*Stipa* L.) и полыни (*Artemisia* L.), тысячелистника (*Achillea millefolium* L.), синеголовника (*Eryngium* L.) и др. На выходах мела были отмечены шалфей (*Salvia* L.), типчак (*Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin,), живокость (*Delphinium* L.), тырса (*Stipa capillata* L.), чабрец меловой (*Thymus calcareus* Klokov & Des.-Shost.) и др. В пойменной части растительность представлена козьей ивой (*Salix caprea* L.), ежевикой (*Rubus fruticosus* L.), крапивой (*Urtica* L.), рогозом (*Typha* L.), тростником (*Phragmite*s Adans) и др.

ЗЛН по линии ландшафтно-экологических профилей в основном состояли из ясеня зеленого (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall) и робинии псевдоакации (*Robinia pseudoacacia* L.). Также в лесных полосах были отмечены вяз обыкновенный (*Ulmus laevis* Pall.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), яблоня лесная (*Malus sylvestris* L.) и груша лесная (*Pyrus communis* subsp. pyraster (L.) Ehrh). Межполосное расстояние во всех лесонасаждениях составило 3 м. Средняя высота – от 3,5 до 8 м. Средний диаметр ствола – 11-22 см. Установлено выпадение *Fraxinus pennsylvanica* Marshall во всех лесных полосах, а на меловых отложениях полностью выпала *Robinia pseudoacacia* L. В конце профиля «Северный» отмечен массив сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), у которого средняя высота – 6 м, а диаметр ствола – 11 см.

Почвенный покров представлен каштановыми почвами. В пределах полей выделен агрогумусовый горизонт с мощностью от 15 до 40 см. В левобережной части на открытых меловых участках и пахотных угодьях отмечен до глубины в 20 см агроабразионный сегрегационный горизонт.

По результатам полевого эталонирования выполнено дешифрирование территории водосборного бассейна (рисунок 4). Отмечено равномерное распределение пахотных угодий на значительной части водосбора. В пойме р. Ширяй и на склонах балок выделены пастбища и сенокосы; вдоль полей – системы ЗЛН. Преобладающая часть населенных пунктов расположена на правом берегу р. Ширяй.



Элементы ландшафта / Landscape elements	Площадь, га / Area, ha	Элементы ландшафта / Landscape elements	Площадь, га / Area, ha
Пахотные угодья / Fields	37323,0	Лесные культуры / Forest crops	137,2
Пастбища, сенокосы / Pastures, hayfields	17610,6	Выход меловых отложений на поверхность / Outcrop of chalk deposits	1566,7
Лесные полосы / Forest belts	550,8	Водные объекты / Water bodies	8,5
Естественные леса / Natural forests	3134,0	Селитебные территории / Residential areas	1063,5

Рисунок 4 – Основные элементы ландшафта
Figure 4 – Main elements of the landscape

На основе данных дешифрирования КС установлены доли основных элементов ландшафта от общей площади исследуемого участка. Большую часть водосборного бассейна р. Ширяй занимают пахотные угодья (60,8 %). Значительные территории используются в качестве сенокосов и пастбищ – 28,7 %. Наиболее сильно деградированными участ-

ками являются выходы меловых отложений на поверхность (2,6 %), вовлеченные в хозяйственный оборот в качестве сенокосов и пастбищ. Доля селитебных территорий составляет 1,7 %.

При анализе результатов установлена общая лесистость территории исследования (6,2 %), из которой основную площадь лесов занимают пойменные и балочные леса – 5,1 %, ЗЛН – 0,9 %, доля лесных культур составляет 0,2 %. Параметр полезащитной лесистости равен 1,5 %, что недостаточно для развития оптимального природопользования.

По результатам полевых исследований и дешифрирования установлено, что большая часть территории вовлечена в сельскохозяйственный оборот, а рельеф местности представляет собой очень пологие и пологие склоны.

Для оценки вероятности развития процессов эрозии на пахотных угодьях была проведена классификация их территории в соответствии с ландшафтными полосами (рисунок 5). Площадь водораздельной полосы, в пределах которой отсутствуют процессы водной эрозии, составляет 7,0 % от общей площади анализируемых полей. Площадь приводораздельной полосы с уклоном рельефа 0,5-3º составила 77,6 %. Отмечена слабая степень эродированности пахотных угодий. При этом стоит отметить, что из-за значительной протяженности склона (более 2 км в пределах одного поля, что характерно для всего водораздела) формируется и концентрируется сток. Исходя из этого, на землях данной полосы необходимо начинать реализацию агролесомелиоративных мероприятий.

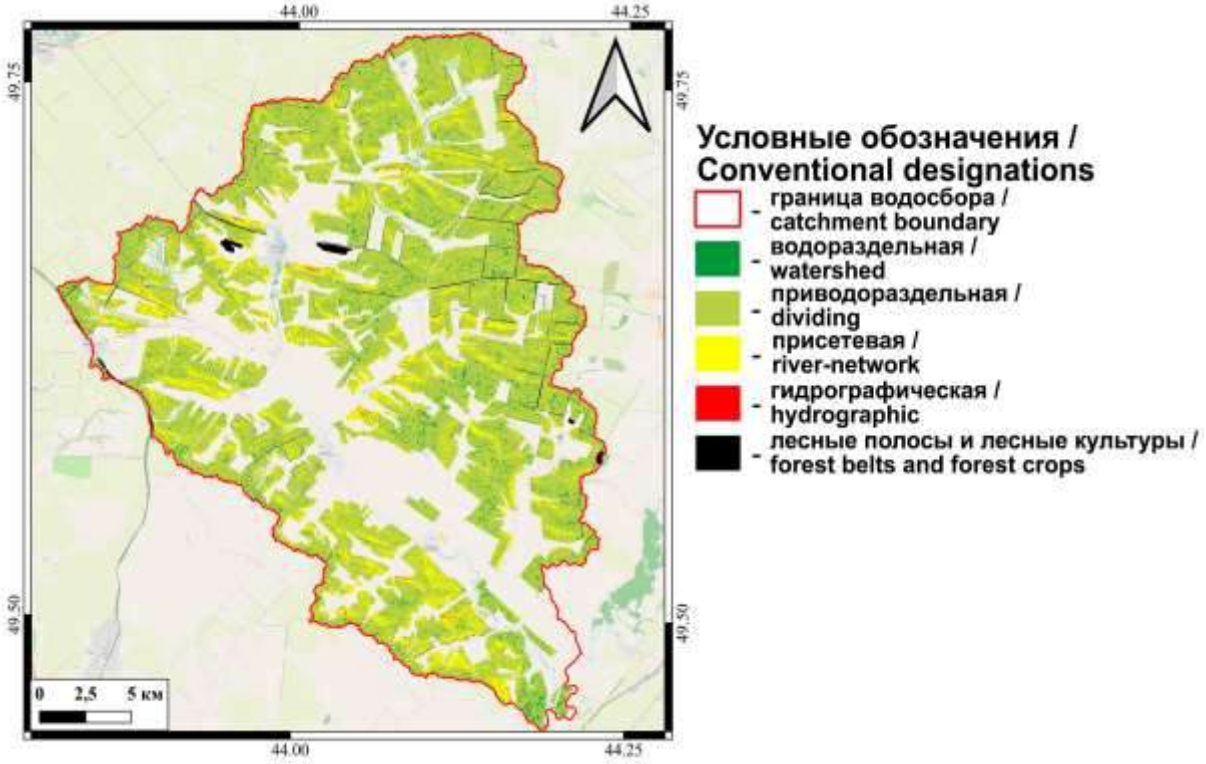


Рисунок 5 – Ландшафтные полосы пахотных угодий
Figure 5 – Landscape strips of arable lands

Земли присетевой полосы (3-7°) составляют 15,1 % и располагаются в основном по окраинам пахотных полей. Стоит отметить, что в пределах данной полосы существует высокая вероятность возникновения процессов водной эрозии за счет подмыва с приводораздельной полосы и формирования собственного смыва. Гидрографическая полоса, примыкающая к присетевой, составляет 0,3 % и характеризуется наиболее сильным развитием эрозионных процессов (уклон > 7º). Рекомендуется проведение лугомелиоративных работ на данной территории с целью дальнейшего использования в качестве пастбищ и сенокосов.

По результатам геоинформационного анализа и полевых работ построено 15 линий тока общей протяженностью более 18 км (рисунок 5). На их основе рассчитан показатель потенциального смыва, используемый при определении расстояния между стокорегулиру-

ющими лесными полосами. Учитывалось, что потенциальный смыв не должен превышать допустимых значений. В рамках проведенного анализа отмечено превышение допустимого смыва на четырех линиях тока (расстояние от начала более 900 м). Следовательно, на основе данных потенциального смыва определено оптимальное расстояние между стокорегулирующими лесными полосами в зоне каштановых и темно-каштановых почв – 350 м (Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное…., Кочетов и др., 1999).



Рисунок 6 – Элементы ландшафта и расположение линий тока
Figure 6 – Landscape elements and flow line locations

В рамках выполнения этапа полевого контроля был совершен дополнительный выезд на водосборный бассейн с целью уточнения данных (рисунок 7). Выделенные шесть точек соотносились с результатами предыдущих этапов. Выполнено дополнительное описание ЗЛН. В точках № 1, 2 в лесных полосах главной породой является *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, средняя высота которого 6 и 3 м соответственно. В данных лесных полосах отмечается частичное выпадение *Fraxinus pennsylvanica* Marshall. В точке № 3 находилась прибалочная шестирядная лесная полоса, где главная порода – *Ulmus laevis* Pall. (высота – 4,5 м). В точке 4 зафиксированы противоэрозионные лесные полосы, которые практически полностью выпали. В них присутствовали единичные экземпляры *Ulmus laevis* Pal.l, шиповника (*Rosa* L.) и терна (*Prunus spinosa* L.). Всего зафиксировано 16 однорядных полос с расстоянием между ними 70 м.

В точке № 5 описана пятирядная лесная полоса, состоящая из двух рядов *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, который частично выпал, и трех рядов *Robinia pseudoacacia* L. Средняя высота древостоя составила 5 м, зафиксирована корневая поросль. В точке № 6 отмечены две пятирядные лесные полосы. Первая располагалась вдоль дороги и состояла из клена татарского (*Acer tataricum* L.), *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, который частично выпал и *Ulmus laevis* Pall. Средняя высота – 5 м. Вторая лесополоса располагалась вдоль пашни. Четыре ряда – *Ulmus laevis* Pall. и один – *Fraxinus pennsylvanica* Marshall. Средняя высота – 6 м.

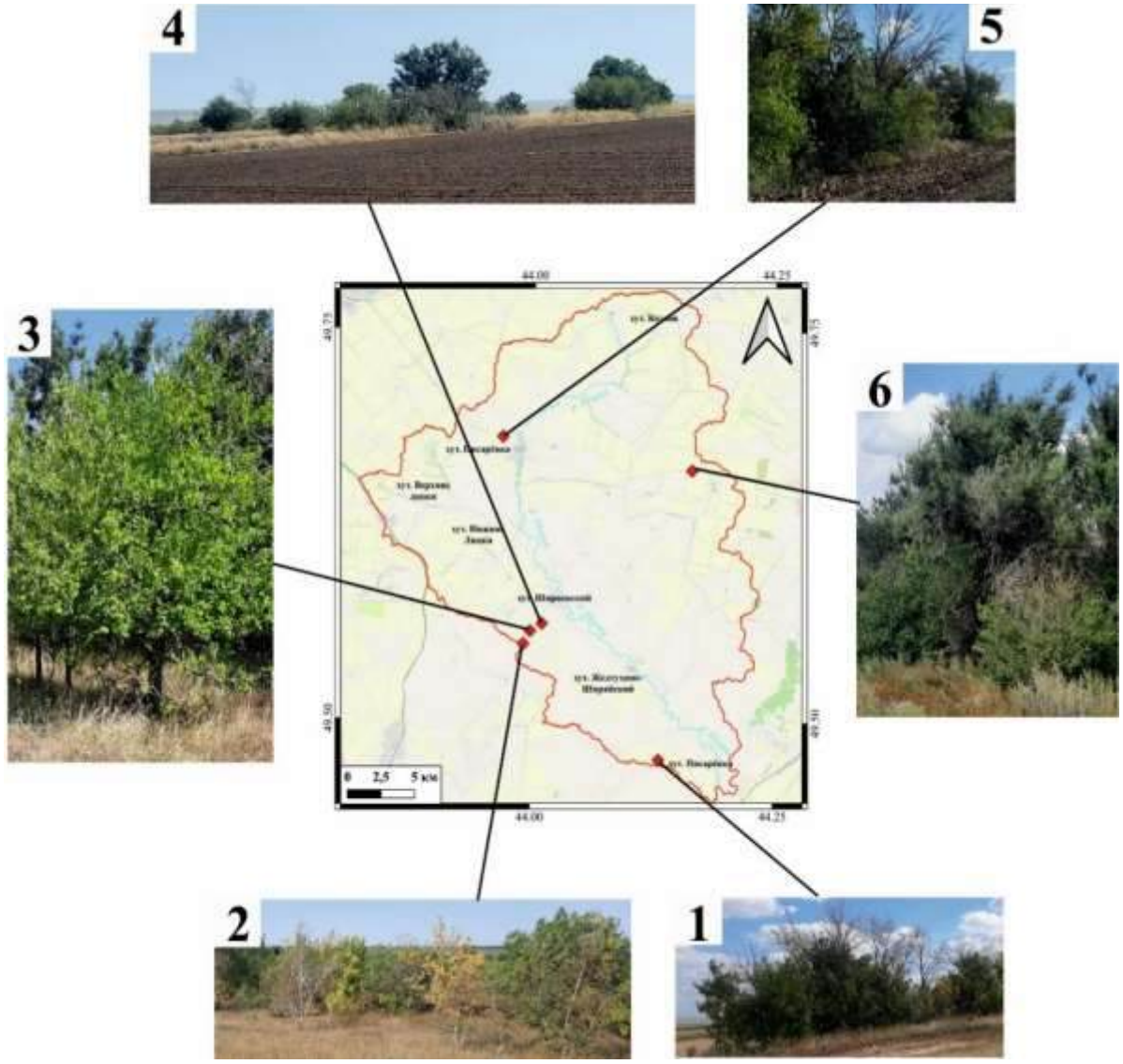


Рисунок 7 – Полевой контроль
Figure 7 – Field control

В рамках этапа итогового картографирования на основе проведенных исследований, а также анализа литературного материала предложены типы смешения и видовой состав ЗЛН для данной территории [11-13]. Предлагается следующий тип смешения стокорегулирующих лесных полос: два ряда главной породы (дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) на зональных почвах и лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) на участках с близким залеганием меловых пород) и кустарник (смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh.) или шиповник (*Rosa* L.)) с обеих сторон на опушечных рядах (рисунок 8а). Способ смешения для них – древесно-кустарниковый. Важность его размещения оценена в работах А. Т. Барабанова и др., где выявлено, что низкорослый кустарник положительно влияет на снегонакопление [11].

Для предотвращения мелкозема в гидрографическую сеть предлагается размещать прибалочные лесные полосы. Тип смешения предлагаемых лесонасаждений – комбинированный: от пахотных угодий ряд кустарников, затем два ряда главных пород и далее два ряда сопутствующих пород (рисунок 8б). Для них возможен следующий видовой состав: главные породы – *Quercus robur* L., груша лесная (*Pyrus communis* subsp. pyraster L.); сопутствующие – *Acer tataricum* L. и *Ulmus laevis* Pall.; кустарники – *Ribes aureum* Pursh. или *Rosa* L.

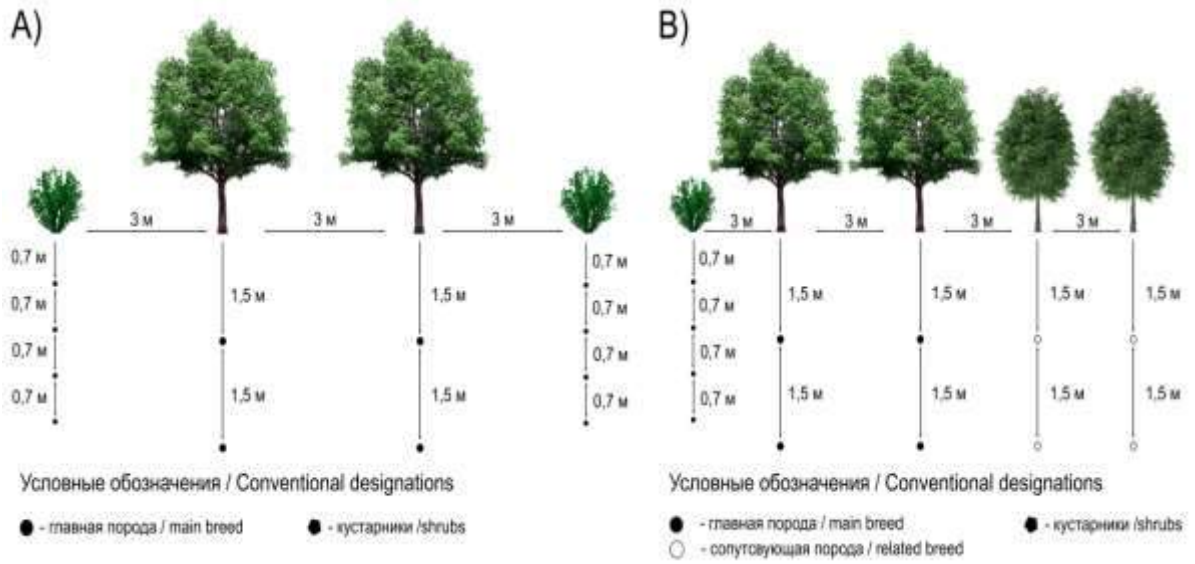


Рисунок 8 – Тип смешения предлагаемых лесных полос
А) – древесно-кустарниковый (стокорегулирующие лесные полосы);
В) – комбинированный (прибалочные лесные полосы)
Figure 8 – Mixed forest belt patterns for the proposed forest belts
A) – tree-shrub (runoff-regulating forest belts); B) – combined (ravine forest belts)

С целью оптимизации природопользования и снижения темпов деградации пахотных угодий для водосбора р. Ширяй построена картосхема оптимального размещения систем ЗЛН (рисунок 9). Для достижения максимально положительного эффекта агролесомелиоративные мероприятия должны охватывать все поля на территории водосбора. Стокорегулирующие лесные полосы необходимо размещать поперек линий тока и в дальнейшем разделять склон на отрезки для минимизации развития процессов эрозии при ливневых осадках и процессах снеготаяния [11, 14-17]. Прибалочные лесные полосы предлагается размещать вдоль балок.

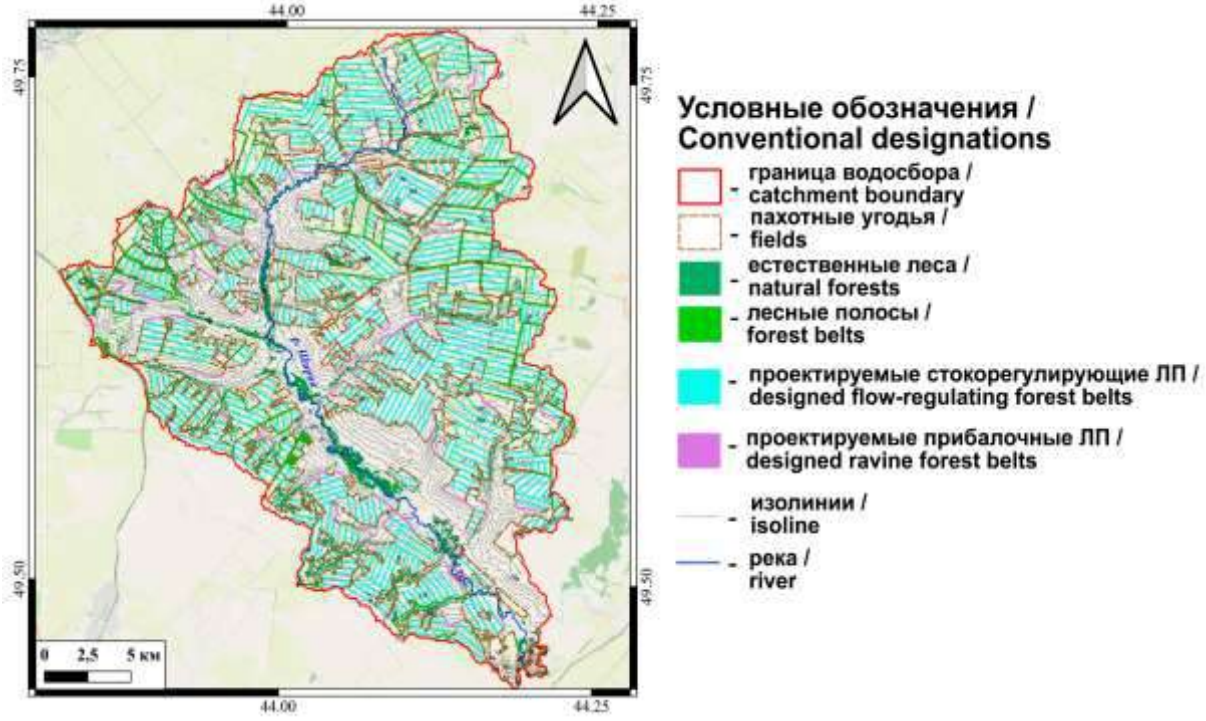


Рисунок 9 – Схема агролесомелиоративного обустройства территории
Figure 9 – Scheme of agroforestry arrangement of the territory

В рамках проведения агролесомелиоративных мероприятий площадь стокорегулирующих лесных полос будет составлять 734,9 га, прибалочных – 84,6 га. В результате площадь ЗЛН на водосборе р. Ширяй будет достигать 1370,3 га (в настоящее время их площадь 550,8 га). При этом они будут размещаться на пахотных угодьях, которые будут выведены из оборота, что снизит их площадь до 36503,5 га. Полезащитная лесистость достигнет 3,8 %, что положительно скажется на продуктивности и устойчивости агролесоландшафтов данной территории.

Для реализации агролесомелиоративных мероприятий посадочный материал должен соответствовать ГОСТ Р 59653-2021. Для стокорегулирующих лесных полос потребность в саженцах следующая: главная порода – 1 088 723 шт.; кустарник – 2 332 978 шт. Для прибалочных ЗЛН: для главных и сопутствующих пород – 187 990 шт.; для кустарников – 100 709 шт.

Заключение. В рамках проведенного исследования выделен водосборный бассейна р. Ширяй, площадь которого составляет 61394,3 га. Большую его часть занимают пахотные угодья (60,7 %), отнесенные к приводораздельной ландшафтной полосе (77,6 %). Из-за большой протяженности склонов (более 2 км) возможно развитие процессов эрозии, для предотвращения которых созданы лесные полосы (0,9 %). Данные ЗЛН в основном состоят из *Robinia pseudoacacia* L, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Ulmus laevis* Pall. и других пород. Во всех лесных полосах зафиксировано частичное выпадение *Fraxinus pennsylvanica* Marshall. Показатель полезащитной лесистости составил 1,5 %, что недостаточно для оптимального развития данных территорий.

Для предотвращения процессов деградации агроландшафтов необходима реализация агролесомелиоративных мероприятий. В результате общая площадь лесных полос увеличится примерно в 2,5 раза, а показатель оптимальной полезащитной лесистости будет составлять 3,8 %. При создании ЗЛН основную долю будут составлять стокорегулирующие полосы (90 %) с межполосным расстоянием 350 м. Тип смешения для данных лесных насаждений: по опушкам кустарник (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.) и в центре два ряда главной породы (*Quercus robur* L.*,* и *Larix sibirica* Ledeb.). Вдоль балок предполагается размещение прибалочных лесных полос со следующим типом смешения: один ряд кустарник (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.), за которым следуют по два ряда главных (*Quercus robur L. u Pyrus communis* subsp. pyraster (L.) Ehrh) и сопутствующих пород (*Acer tataricum* L*. u Ulmus laevis* Pall.).

Conclusion. The study identified the Shiryai river catchment area, covering 61,394.3 hectares. Most of this land is occupied by cropland (60.7 %), which is classified as a watershed landscape belt (77.6 %). Due to the long slopes (more than 2 km), erosion is possible. To prevent this, forest belts (0.9 %) were created. These PFPs primarily consist of *Robinia pseudoacacia* L, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall, *Ulmus laevis* Pall., and other species. Partial loss of *Fraxinus pennsylvanica* Marshall was recorded in all forest belts. The shelterbelt forest cover ratio was 1.5 %, which is insufficient for optimal development of these areas.

To prevent degradation of agricultural landscapes, it is necessary to implement agroforestry measures. As a result, the total area of forest belts will increase approximately 2.5 times, and the optimal shelterbelt forest cover ratio will be 3.8 %. When creating the PFPs, the main share (90 %) will be runoff-regulating strips with a spacing of 350 m. The forest mix for these stands will consist of shrubs (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.) along the edges and two rows of the main species (*Quercus robur* L.*,* и *Larix sibirica* Ledeb.) in the center. Along the gullies, it is proposed to place ravine forest strips with the following mix: one row of shrubs (*Ribes aureum* Pursh и *Rosa* L.), followed by two rows of the main species (*Quercus robur L. u Pyrus communis* subsp. pyraster (L.) Ehrh) and two rows of associated species (*Acer tataricum* L*. u Ulmus laevis* Pall.).

Библиографический список

1. 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.

2. Дубенок Н. Н. Приоритеты научного обеспечения развития мелиорации. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 1. С. 96-104.

3. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачева А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 4-14.

4. Иванцова Е. А., Аль-Чаабави М. Р. А., Солодовников Д. А. Состояние и структура сельскохозяйственных угодий на полигоне Джулуб в провинции Майсан (Ирак). Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 56-65.

5. Кочкарь М. М., Воробьева О. М., Вдовенко А. В., Воронина В. П. Условия функционирования агролесоландшафтов Доно-Чирского междуречья. Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 38-45.

6. Турусов В. И., Гармашов В. М., Богатых О. А., Дронова Н. В., Михина Т. И. Схемы чередования сельскохозяйственных культур для севооборотов эрозионно-опасных агроландшафтов центрального Черноземья. Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 10-4 (52). С. 164-166.

7. Турчин Т. Я., Танюкевич В. В., Баканов И. А. Оценка качества и санитарного состояния культур ГЗЛП Воронеж - Ростов-на-Дону в условиях Ростовской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 104-115.

8. Кулик К. Н., Манаенков А. С., Салугин А. Н., Кузенко 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.

9. 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.

10. Истомин С. А., Хныкин А. С. Геоинформационный анализ агроландшафтов Калачской возвышенности на примере полигона «Солонка». Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 174-184.

11. Барабанов А. Т., Шайфуллин М. Р., Кулик А. В., Гордиенко О. А. Влияние низкорослого кустарника в стокорегулирующих лесополосах на факторы формирования стока талых вод. Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. № 3. С. 72-79.

12. Крючков С. Н., Солонкин А. В., Соломенцева А. С., Егоров С. А. Биоэкологическая характеристика уникальных природных и искусственных популяций дуба на полупустынных ландшафтах Волгоградской области. Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15. № 3 (57). С. 606-618.

13. Маштаков Д. А., Автономов А. Н. Создание защитных лесных насаждений с лиственницей сибирской в условиях лесостепи. Научная жизнь. 2018. № 12. С. 159-167.

14. Ивонин В. М. Эрозия почв при талом стоке на склонах с лесными полосами. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 126-143.

15. Кулик А. В., Гордиенко О. А. Условия формирования поверхностного стока талых вод на склоновых землях юга Приволжской возвышенности. Почвоведение. 2022. № 1. С. 44-54.

16. Полуэктов Е. В., Таран Ю. А., Еременко А. В. Установление оптимальной облесенности пашни на склоновых землях степной зоны. Успехи современного естествознания. 2016. № 12-2. С. 325-329.

17. Яшин И. П., Проездов П. Н., Есков Д. В., Маштаков Д. А., Розанов А. В. Закономерности формирования поверхностного стока для обоснования проектирования агролесомелиоративных противоэрозионных приемов и сооружений в степи Приволжской возвышенности. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2(82). С. 98-104.

References

1. Kulik A. V., Voronina V. P., Uzolin A. I. Experience of Forming an Agroforestry Reclamation System on the Right Bank of the Middle Don to Increase the Productivity of Agroecosystems. Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No. 3 (55). Pp. 142-152.

2. Dubenok N. N. Priorities of Scientific Support for Land Reclamation Development. Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy. 2014. No. 1. Pp. 96-104.

3. 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. Vol. 29. No. 1(94). Pp. 4-14.

4. Ivantsova E. A., Al-Chaabawi M. R. A., Solodovnikov D. A. The state and structure of agricultural lands at the Julub test site in Maysan province (Iraq). News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No. 2 (70). Pp. 56-65.

5. Kochkar M. M., Vorobyeva O. M., Vdovenko A. V., Voronina V. P. Functioning conditions of agroforest landscapes of the Don-Chir interfluve. Scientific and Agronomic Journal. 2023. N 1 (120). Pp. 38-45.

6. Turusov V. I., Garmashov V. M., Bogatykh O. A., Dronova N. V., Mikhina T. I. Crop rotation schemes for crop rotations of erosion-hazardous agrolandscapes of the Central Black Earth Region. International Research Journal. 2016. No. 10-4(52). Pp. 164-166.

7. Turchin T. Ya., Tanyukevich V. V., Bakanov I. A. Assessment of the quality and sanitary condition of crops of the Voronezh-Rostov-on-Don state forest protection zone in the Rostov region. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No. 3 (63). Pp. 104-115.

8. Kulik K. N., Manaenkov A. S., Salugin A. N., Kuzenko A. N. On the state of protective afforestation in the Volgograd region. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. No. 1 (57). Pp. 23-33.

9. Kulik K. N. The current state of protective afforestation 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.

10. Istomin S. A., Khnykin A. S. Geoinformation analysis of agrolandscapes of the Kalach Upland using the "salt cellar" test site as an example. Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 3 (75). Pp. 174-184.

11. Barabanov A. T., Shaifullin M. R., Kulik A. V., Gordienko O. A. Influence of low-growing shrubs in flow-regulating shelterbelts on the factors of meltwater runoff formation. Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil Science. 2024. No. 3. Pp. 72-79.

12. Kryuchkov S. N., Solonkin A. V., Solomentseva A. S., Egorov S. A. Bioecological characteristics of unique natural and artificial oak populations in semi-desert landscapes of the Volgograd region. Sustainable Development of Mountainous Territories. 2023. V. 15. No. 3 (57). Pp. 606-618.

13. Mashtakov D. A., Avtonomov A. N. Creation of protective forest plantations with Siberian larch in forest-steppe conditions. Scientific Life. 2018. No. 12. Pp. 159-167.

14. Ivonin V. M. Soil erosion during meltwater runoff on slopes with forest belts. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2021. V. 11. No. 2. Pp. 126-143.

15. Kulik A. V., Gordienko O. A. Conditions for the formation of surface runoff of melt water on sloping lands in the south of the Volga Upland. Soil Science. 2022. No. 1. Pp. 44-54.

16. Poluektov E. V., Taran Yu. A., Eremenko A. V. Establishing optimal afforestation of arable land on sloping lands of the steppe zone. Advances in modern natural science. 2016. No. 12-2. Pp. 325-329.
17. Yashin I. P., Proezdov P. N., Eskov D. V., Mashtakov D. A., Rozanov A. V. Patterns of surface runoff formation to substantiate the design of agroforestry anti-erosion techniques and structures in the steppe of the Volga Upland. Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy. 2025. No. 2 (82). Pp. 98-104.

Информация об авторах

Кулик Константин Николаевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97); профессор, ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», ORCID https://orcid.org/0000-0001-7124-8116, e-mail: kulikn@yandex.ru

Истомин Сергей Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0003-1511-832X, e-mail: istomin-s@vfanc.ru

Арчаков Денис Игоревич, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-7566-443X, e-mail: archakov-di@vfanc.ru

Лебедева Татьяна Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-5271-9768, e-mail: lebedeva-t@vfanc.ru

Authors' Information

Kulik Konstantin Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), Professor, Volgograd State University, ORCID https://orcid.org/0000-0001-7124-8116, e-mail: kulikn@yandex.ru

Istomin Sergey Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, 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), e-mail: istomin-s@vfanc.ru

Archakov Denis Igorevich, Candidate of Geographical Sciences, 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: 0000-0002-7566-443X, e-mail: archakov-di@vfanc.ru

Lebedeva Tatyana Nikolaevna, 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: 0000-0002-5271-9768, e-mail: lebedeva-t@vfanc.ru

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

THE DIGITAL EXPERT SYSTEMS IN THE COTTON BREEDING

Ovchinnikov A. S., Kochetkova O. V., Podkovyrov I. Yu., Ovchinnikov M. A.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: cottonvolgau@list.ru

Received 18.03.2026 Submitted 22.04.2026

Summary

This article focuses on the research and development of a structure for creating a digital database, as well as the creation of a mathematical analysis algorithm in the form of an expert system. This algorithm evaluates the combining ability of parental pairs and recommends the most effective breeding methods for developing cotton varieties. The expert system's algorithm is based on years of practical experience in collecting and hybridizing plants, as well as evaluating them in the field and laboratory. The input data for the expert system are the results of plant phenotyping and genotyping.

Abstract

Introduction. Relevance. Research into cotton variety development relies on various methods, the most common of which are individual and mass selection and hybridization. Finding successful combinations requires years of observation, measurement, and testing of plants in a working collection. Modern digital devices (smartphones, computers, laptops, and tablets) make it possible to accumulate, summarize, and structure information obtained through observation and research. The development of specialized digital data processing applications for breeding, particularly those adapted to cotton is of practical and theoretical interest. **Object.** The research object is a breeding working collection, which, in different years, contained between 22 and 41 plant accessions, primarily of the medium-fiber group belonging to the hard-haired cotton plant (Gossypium hirsutum). Based on this collection, an iterative model of a digital information system was developed that enables the use of preliminary versions (prototypes). **Materials and methods.** The research was conducted at experimental facilities of the Center for Applied Genetics and Cotton Breeding, as well as at the Department of Information Systems and Technology of the Volgograd State Agrarian University from 2014 to 2025. Field trials, the implementation of breeding programs, and the cultivation of cotton

variety samples were conducted at the Agricultural biotechnology research site (Gornaya Polyana, Volgograd). A range of parameters was used for breeding evaluation: bush growth dynamics, growing season duration, fruit number, size and weight, harvest yield, disease and pest resistance, and fiber quality characteristics (length, fineness, micronaire, etc.). The breeding process utilized introduction, hybridization, and individual and mass selection methods. **Results and conclusion.** Based on long-term field and laboratory research conducted at the Center for Applied Genetics and Cotton Breeding and the Department of Information Technology, data on the morphometric characteristics of cotton breeding samples was collected. A database structure was developed that allows for the accumulation of digital data from in-situ measurements for convenient analysis. The Griffing model used for analyzing breeding samples was improved. Evaluation scales for general and specific combining ability were proposed, which allow for the identification of donors of economically valuable traits for the development of hybridization programs. An information system was developed based on an improved algorithm that evaluates the potential of cotton plant samples and suggests the most preferred breeding methods for creating new varieties. A personal computer application was created to facilitate digital data management and setting breeding goals. It features an intuitive interface and helps reduce the amount of fieldwork on hybridization by identifying the most effective methods for creating cotton varieties.

Keywords: *information systems, digital databases, cotton breeding, cotton hybridization.*

Citation. Ovchinnikov A. S., Kochetkova O. V., Podkovyrov I. Yu., Ovchinnikov M. A. The digital expert systems in the cotton breeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 29-37 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-02.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
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 633.511:631.527:004.89

ЦИФРОВЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ В СЕЛЕКЦИИ ХЛОПЧАТНИКА

Овчинников А. С., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
Кочеткова О. В., *доктор технических наук, профессор*
Подковыров И. Ю., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
Овчинников М. А., *кандидат экономических наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Исследования по созданию сортов хлопчатника основаны на использовании разных методов, из которых наиболее часто применяют индивидуальный и массовый отбор и гибридизацию. При этом поиск успешных комбинаций требует многолетних наблюдений, замеров и испытаний растений в рабочей коллекции. Современные цифровые устройства (смартфон, компьютер, ноутбук, планшет) позволяют накапливать, обобщать и структурировать информацию, получаемую в результате наблюдений и исследований. Разработка специализированных приложений цифровой обработки информации для селекционных задач, особенно адаптированных к работе с хлопчатником, представляет практический и теоретический интерес. **Объект.** Объектом исследований является селекционная рабочая коллекция, содержащая в разные годы от 22 до 41 образцов растений преимущественно средневолокнистой группы, относящейся к хлопчатнику жестковолосистому (*Gossypium hirsutum*). На её базе разработана итерационная модель цифровой информационной системы, которая обеспечивает использование предварительных версий (прототипов). **Материалы и методы.** Исследования выполнены на опытных объектах Центра прикладной генетики и селекции хлопчатника, а также на базе кафедры «Информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ» в 2014-2025 годах. Выполнение полевых опытов и реализация селекционных программ, выращивание сортообразцов хлопчатника осуществляли в условиях научно-исследовательского полигона «Агробиотехнологии» (посёлок Горная Поляна, г. Волгоград). Для селекционной оценки использован комплекс показателей: динамика роста кустов, продолжительность периода вегетации, число плодов, их размеры и масса, урожайность по сборам, устойчивость к болезням и вредителям, качественные характеристики волокна (длина, тонина, микронейр и др.). В селекции использовали методы интродукции, гибридизации, индивидуального и массового отбора. **Результаты и выводы.** На основании многолетних полевых и лабораторных исследований, проведённых на базе Центра прикладной генетики и селекции хлопчатника и кафедры информационных систем и технологий, собраны данные морфометрических характеристик селекционных образцов хлопчатника. Разработана структура базы данных, позволяющая накапливать цифровой материал натурных измерений для удобного анализа. Усовершенствована модель Гриффинга, используемая для анализа селекцион-

ных образцов. Предложены оценочные шкалы общей и специфической комбинационной способности, которые позволяют выявить доноров хозяйственно ценных признаков для разработки программ гибридизации. На основе усовершенствованного алгоритма разработана информационная система, которая производит оценку перспективности образцов растений хлопчатника и предлагает наиболее предпочтительные методы селекции для создания новых сортов. Для удобства управления цифровыми данными и постановки селекционных задач создано приложение для персонального компьютера. Оно имеет интуитивно понятный интерфейс и позволяет сократить объём полевых работ по гибридизации за счёт выявления наиболее эффективных методов создания сортов хлопчатника.

Ключевые слова: *информационные системы, цифровые базы данных, селекция хлопчатника, гибридизация хлопчатника.*

Цитирование. Овчинников А. С., Кочеткова О. В., Подковыров И. Ю., Овчинников М. А. Цифровые экспертные системы в селекции хлопчатника. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 29-37. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-02.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Внедрение цифровых информационных систем в агропромышленном комплексе является приоритетной задачей. Национальные системы пространственных данных показали эффективную работу поиска актуальной информации [1]. При их разработке широко применяется имитационное моделирование процессов [2]. Не менее актуальна проблема создания и внедрения информационных и экспертных систем для пользования научными коллективами, инновационными корпорациями, предприятиями [3]. Цифровые системы сбора и анализа научных данных отличаются наиболее сложной структурой анализа. Они позволяют не только производить поиск данных на основе цифровых баз, выполнять расчёты и преобразовывать их в инфографику. Важной функцией таких информационных систем является обучение специалистов [4]. Это позволяет внедрять на предприятиях агропромышленного комплекса цифровые технологии управления [5]. Современным трендом является внедрение цифровизации всех трудоёмких процессов, особенно связанных с расчётами и прогнозами [6]. Одним из таких направлений является селекция.

Создание сортов хлопчатника с новыми качествами связано с решением ряда задач, основной из которых является подбор родительских пар для гибридизации, отличающихся хозяйственно ценными признаками. Наиболее широко группами исследователей в Китае, Индии, Узбекистане и других странах для этого применяют традиционные методы поиска исходных комбинаций скрещиваний [7, 8]. Это связано с выполнением большого объёма скрещиваний и дальнейшим анализом наследования хозяйственно ценных признаков потомством. Данная работа трудоёмка и занимает значительный промежуток времени, особенно в условиях юга России, где у хлопчатника один вегетационный сезон. Использование в зимнее время защищённого грунта только частично может ускорить длительность процесса селекции, так как имеет ограничения по площади. Современные методы молекулярной биологии также позволяют провести анализ генетического потенциала селекционного материала и выявить перспективных доноров хозяйственно ценных признаков. Однако молекулярный анализ ДНК хлопчатника не позволяет определить наиболее предпочтительные и эффективные методы селекции, что является недостатком. В ходе исследований при создании сортов представляет интерес применение разных методов, как традиционных, так и новых. Их комплексное применение направлено на ускорение селекционного процесса и снижение трудозатрат научных коллективов [9].

Исследования по созданию сортов хлопчатника основаны на использовании разных методов, из которых наиболее часто применяют индивидуальный и массовый отбор и гибридизацию. При этом поиск успешных комбинаций требует многолетних наблюдений, замеров и испытаний растений в рабочей коллекции, которой располагает коллектив учёных. В результате ежегодно образуется комплекс данных, которые систематизированы в журналах учёта и рабочих записях. Современные цифровые устройства (смартфон, компьютер, ноутбук, планшет) позволяют накапливать, обобщать и структурировать информацию, получаемую в результате наблюдений и исследований. Разработка специализированных приложений цифровой обработки информации для селекционных задач, особенно адаптированных к работе с хлопчатни-

ком, представляет практический и теоретический интерес [10]. Данные работы ограничивает низкая востребованность программного обеспечения ввиду узкой специфики выполняемых задач и малого числа научных коллективов в нашей стране, которые могут его применить в своей деятельности. Ресурс межотраслевого коллегиального взаимодействия при обучении в вузе позволил выполнить данную задачу в отсутствии коммерческой заинтересованности. Оформление результата интеллектуальной деятельности в виде базы данных и программы для ЭВМ является одной из задач коллегиальной работы [11].

Целью исследований являлась разработка структуры и формирование цифровой базы данных, а также создание математического алгоритма их анализа в виде экспертной системы, позволяющей оценивать комбинационную способность родительских пар, предлагать наиболее эффективные методы селекции при создании сортов хлопчатника.

Материалы и методы. Исследования выполнены на опытных объектах центра прикладной генетики и селекции хлопчатника, а также базе кафедры «Информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «Волгоградский ГАУ» в 2014-2025 годах. Выполнение полевых опытов и реализация селекционных программ, выращивание сортообразцов хлопчатника осуществляли в условиях научно-исследовательского полигона «Агробиотехнологии» (посёлок Горная Поляна, г. Волгоград). Селекционная рабочая коллекция содержала в разные годы от 22 до 41 образцов растений преимущественно средневолокнистой группы, относящейся к хлопчатнику жестковолосистому (*Gossypium hirsutum*). Для селекционной оценки использован комплекс показателей: динамика роста кустов, продолжительность периода вегетации, число плодов, их размеры и масса, урожайность по сборам, устойчивость к болезням и вредителям, качественные характеристики волокна (длина, тонина, микронейр и др.). В селекции использовали методы интродукции, гибридизации, индивидуального и массового отбора. Отдельные наиболее перспективные образцы проанализированы в центре молекулярно-генетических технологий методом микросателлитного анализа ДНК. В результате натурных полевых и лабораторных исследований собран цифровой материал, который был обобщён в виде базы данных [12].

Структурирование цифровой базы данных и селекционного процесса выполнено методом построения IDEF0 диаграммы. На основании данных о гибридизации методом Гриффинга определялись общая и специфическая комбинационная способность для каждого анализируемого сорта в условиях Волгоградской области. Для разработки информационной системы использована итерационная модель, которая обеспечивает использование предварительных версий (прототипов). Возврат к предыдущим стадиям при разработке и эксплуатации позволяет внести коррективы и совершенствовать рабочий алгоритм обработки данных, пополнить базу знаний, исправить выявленные ошибки [13, 14].

Результаты и обсуждение. Селекционная программа создания сортов включает последовательное и комплексное решение ряда задач. В основу алгоритма экспертной системы были заложены результаты многолетнего практического опыта коллекционного изучения и гибридизации растений, их оценки в поле и лаборатории. С этой целью на базе центра прикладной генетики и селекции хлопчатника была разработана программа создания современных гибридов этой культуры для выращивания в южных регионах страны. На начальном этапе была собрана коллекция селекционных образцов, которые являются донорами хозяйственно ценных признаков и используются в гибридизации. В течение ряда лет проведено их комплексное исследование в полевых условиях. В результате этих работ собраны разнообразные цифровые данные, которые характеризуют рост, развитие и репродуктивные свойства растений хлопчатника. Их анализ показал возможность разработки информационной системы, которая позволяет определять перспективность селекционного материала и предлагать наиболее эффективные методы селекционной работы при создании сортов.

Входными данными для экспертной системы являются результаты фенотипирования и генотипирования растений. Однако не всегда имеются полные сведения. Данная методика позволяет использовать как отдельные сведения о биоморфологии селекционных образцов (фенотипов), так и в их комплексе с данными молекулярного генетического анализа. Наиболее значим первый этап исследований, связанный с формированием банка первичных данных, необходимых для дальнейшего анализа. Как правило, в результате многолетней работы коллекционный фонд образцов увеличивается, что приводит к расширению исходной информации. На выходе это позволяет ежегодно получать новые данные о наследственных свойствах сортов и гибридов.

Центральным процессом экспертной системы являлось определение общей и специфической комбинационной способности в виде цифровых индексов, по которым удобно проводить сравнения и выделять перспективные родительские пары. Декомпозиция данного подпроцесса выявила шесть последовательно взаимосвязанных уровней: выбор данных фенотипирования хлопчатника, выбор наследственных признаков, составление модели нового сорта, выбор родительских форм растений для гибридизации, оценка комбинационной способности, оценка перспективности потомства, рекомендации по методам селекции (рисунок 1).

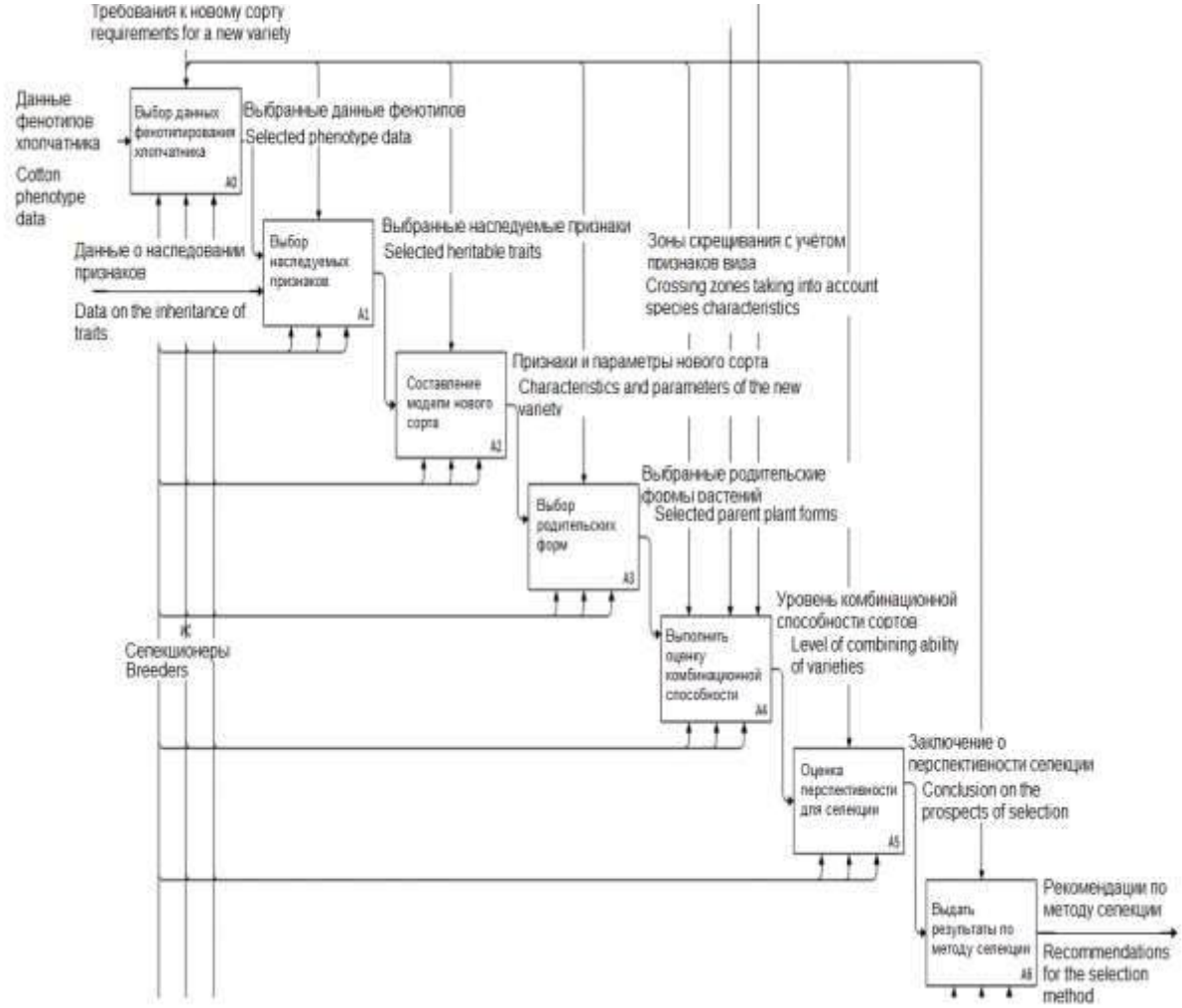


Рисунок 1 – IDEF0 диаграмма «Как будет» декомпозиции подпроцесса «Проверка общей и специальной комбинационной способности»
Figure 1 – IDEF0 diagram of the “How it will be” decomposition of the “Checking general and specific combinability” sub-process

При оценке общей и специфической комбинационной способности необходимо учитывать законы скрещивания и наследования признаков у хлопчатника. При правильном расчёте индексов комбинационной способности на последующих уровнях экспертная система позволяет оценить перспективность селекционного материала и сформировать рекомендации по методам создания сортов.

В результате определения комбинационной способности получаются вариансы, которые сложно интерпретировать в классической методике, основанной на модели Гриффинга. Её сущность заключается в сравнении вариансов общей и специфической комбинационной способности через вычисление разности. В итоге также получаются безразмерные цифры, которые используют в сравнительном анализе. Эти величины уникальны для каждой селекционной коллекции. Вариансы представляют собой многозначные числа, которые

рекомендуется проиндексировать с целью сравнения. Для удобства классификации селекционного материала по комбинационной способности нами были разработаны оригинальные оценочные шкалы (таблица 1).

Таблица 1 – Оценочные шкалы общей (ОКС) и специфической комбинационной способности (СКС)
Table 1 – Rating scales of general (GCA) and specific combination ability (SCA)

Классы / Grades	Границы классов ОКС / Grades boundaries of OKS		Границы классов СКС / Boundaries of SCS grades		Группы селекционной ценности / Groups of selection value
1 класс / 1st grade	менее / less	0,58	менее / less	0,98	не перспективные / not promising
2 класс / 2nd grade	0,59	0,82	0,99	1,03	условно перспективные / relatively promising
3 класс / 3rd grade	0,83	1,06	1,04	1,09	перспективные / promising
4 класс / 4th grade	более / more	1,07	более / more	1,10	очень перспективные / very promising

Перевод варианс комбинационной способности в индексы произведён через средние значения по коллекции. Это позволило адаптивно нормировать цифровой материал и определить границы классов с учётом максимально возможных и минимальных значений. На основании разработанной шкалы весь анализируемый селекционный материал можно разделить на четыре класса по перспективности использования в программах создания сортов. Приоритетными являются растения из классов перспективных и очень перспективных, что определяется совокупностью наследуемых качеств. Однако образцы из первых двух классов могут обладать уникальными единичными свойствами, ценными для селекции. Например, к таким свойствам относят цвет волокна рыжий или зелёный. Хлопчатники с цветным волокном отличаются длинным периодом вегетации и низким качеством сырца, что относит их к условно перспективной группе. Наличие пигментации волокна может являться ценным свойством, а растения-носители могут быть перспективны для определённых селекционных задач.

В настоящее время разработаны различные методы селекции, которые широко применяются для сокращения времени создания сортов и гибридов. Важной задачей в этом процессе является выбор наиболее подходящего метода. Экспертная оценка селекционера, основанная на эмпирическом опыте работы с хлопчатником, позволяет определить необходимый метод. Решение в выборе метода не всегда объективно. Данная информационная система предлагает несколько возможных решений, что повышает объективность селекционного прогноза и результативность процесса в целом. Ранжирование растений генетических доноров хозяйственно ценных качеств по группам селекционной ценности позволяет подобрать наилучший селекционный метод. Для этого в базе цифровых данных заложена информация по рекомендациям практического применения каждого метода. Машинный анализ основан на бинарном выборе (да или нет). При этом в создании сортов и гибридов можно использовать растения как из неперспективных, так и из перспективных групп.

Неперспективные и условно перспективные образцы рекомендуется улучшить некоторыми селекционными методами. Разработана шкала выбора методов селекции, основанная на практических результатах работы с хлопчатником. Она основана на десяти наиболее результативных приёмах и подходах к созданию сортов (таблица 2).

Экспертная система на основании данных о специфичной и общей комбинационной способности сортов вычисляет вероятность успешного создания селекционного материала с заданными качествами. Это позволяет подбирать методы селекции на основании данных фенотипирования и генетического анализа с высокой прогнозируемой эффективностью результата. Ежегодное пополнение экспериментальных данных и сведений о новых коллекционных экземплярах в базе данных информационной системы позволят увеличить точность результатов её анализа.

Таблица 2 – Шкала выбора методов для сортов с различной селекционной ценностью
Table 2 – Scale of selection methods for varieties with different breeding value

Методы селекции / Breeding methods	Группы селекционной ценности / Groups of selection value			
	неперспективные / not promising	условно перспективные / conditionally promising	перспективные / promising	очень перспективные / very promising
Массовый отбор / Mass selection	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended
Индивидуальный отбор / Individual selection	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended
Гибридизация близкородственная (инбридинг) / Inbreeding	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended
Гибридизация отдалённая (аутбридинг) / Distant hybridization (outbreeding)	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended
Клеточная инженерия / Cellular engineering	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended
Хромосомная инженерия / Chromosomal engineering	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended
Генная инженерия / Genetic engineering	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended	рекомендуется / recommended
Возвратные скрещивания (беккросы) / Backcrosses	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended	рекомендуется / recommended
Межвидовая гибридизация / Interspecific hybridization	рекомендуется / recommended	не рекомендуется / not recommended	не рекомендуется / not recommended	рекомендуется / recommended
Экспериментальный мутагенез / Experimental mutagenesis	не рекомендуется / not recommended	рекомендуется / recommended	рекомендуется / recommended	не рекомендуется / not recommended

Заключение. Применение методологии создания цифровой экспертной системы позволило усовершенствовать процесс создания сортов хлопчатника. Информационная система позволяет накапливать, хранить и обобщать данные полевых и лабораторных наблюдений, выполнять их сравнительный анализ. На основании оригинальных оценочных шкал образцы коллекционного фонда разделяются на группы с разной селекционной ценностью. Это позволяет выбрать наиболее эффективные методы селекции и выполнить оценку комбинационной способности при гибридизации. Данный подход к организации селекционного процесса способствует снижению трудозатрат и сокращению сроков создания перспективных образцов – кандидатов в сорта.

Conclusions. The use of a digital expert system methodology has improved the process of cotton variety development. The information system enables the accumulation, storage, and synthesis of field and laboratory observation data, as well as comparative analysis. Using original evaluation scales, accessions from the collection are divided into groups with varying breeding value. This enables the selection of the most effective breeding methods and the assessment of combining ability during hybridization. This approach to organizing the breeding process reduces labor costs and shortens the time required to develop promising candidate accessions.

Библиографический список

1. Хомяков Д. М. Почвенные ресурсы в федеральной государственной информационной системе "Единая цифровая платформа "Национальная система пространственных данных". Никоновские чтения. 2022. № 27. С. 265-269.

2. Муха В. В. Имитационное моделирование информационного обмена между цифровыми платформами трехуровневой системы управления логистическим процессом в организационной системе. Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: труды Международной молодежной научной школы. Воронеж, 2022. С. 24-27.

3. Дмитренко Е. Н., Лаврентьев С. В. Тенденции развития корпоративных информационных систем в цифровую эпоху. Современные информационные технологии: сборник научных статей 10-й Международной научно-технической конференции. Москва, 2024. С. 110-120.

4. Тихомирова В. Д. Применение интеллектуальных информационных систем для обеспечения интероперабельности цифровой научно-образовательной среды. Перспективные научные исследования как двигатель современной науки: сборник статей международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 18-20.

5. Базарова М. У., Билтуева И. А. Вопросы формирования информационной системы организаций АПК в цифровой среде. Вестник Академии знаний. 2024. № 1 (60). С. 38-43.

6. Хан А. О., Никитин К. А. Интегрированные информационные системы: инновационный путь к цифровой трансформации. Вестник науки. 2024. Т. 4. № 5 (74). С. 1569-1577.

7. Национальная информационная система по генофонду хлопчатника – основа его эффективного использования. https://www.researchgate.net/publication/299366013_Nacionalnaa_informacionnaa_sistema_po_genofondu _hlopcatnika_osnova_ego_effektivnogo_ispolzovania_National_Information_System_on_Cotton_Genepool_is_Base_of_Their_Effective_Use

8. Привалов Ф. И., Матыс И. С., Авакян А. Э. Информационное обеспечение генетических ресурсов Беларуси и Армении. Земледелие и селекция в Беларуси. 2023. № 59. С. 239-246.

9. Овчинников А. С., Кимсанбаев О. Х., Конотопская Т. М. Пути создания экологически пластичных сортов хлопчатника для условий Нижнего Поволжья. Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования. Волгоград, 2017. Т. 4. – С. 3-8.

10. Зарук Н. Ф., Быстренина И. Е., Харитонова А. Е. Совершенствование процесса управления производством органической продукции с использованием интеллектуальной информационной системы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 6. С. 214-222.

11. Кочеткова О. В., Подковыров И. Ю., Кривопустенко А. Е. Функциональное моделирование процессов выращивания хлопчатника. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3(47). С. 258-266.

12. Кочеткова О. В., Подковыров И. Ю., Гончаров И. Ю. Онтологический инжиниринг в области селекции хлопчатника. Известия НВ АУК. 2021. № 2 (62). С. 366-378.

13. Рудницкий А. А. Разработка информационной системы по селекции новых сортов хлопчатника. XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области: сборник материалов конференции. Волгоград, 2022. С. 193-195.

14. Прохоренков П. А., Регер Т. В. Построение адаптивной модели системы нечеткого логического вывода с использованием рядов селекции. Современные наукоемкие технологии. 2023. № 12-1. С. 75-80.

References

1. Khomyakov D. M. Soil resources in the federal state information system "Unified digital platform "National system of spatial data". Nikonovskie readings. 2022. No. 27. Pp. 265-269.

2. Mukha V. V. Simulation modeling of information exchange between digital platforms of a three-level logistics process management system in an organizational system. Optimization and modeling in automated systems. Proceedings of the International Youth Scientific School. Voronezh, 2022. Pp. 24-27.

3. Dmitrenko E. N., Lavrentiev S. V. Trends in the development of corporate information systems in the digital age. Modern information technologies: collection of scientific articles of the 10th International Scientific and Technical Conference. Moscow, 2024. Pp. 110-120.

4. Tikhomirova V. D. Application of intelligent information systems to ensure interoperability of the digital scientific and educational environment. Promising scientific research as the engine of modern science: collection of articles from the international scientific conference. St. Petersburg, 2024. Pp. 18-20.

5. Bazarova M. U., Biltueva I. A. Issues of formation of the information system of agro-industrial complex organizations in the digital environment. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2024. No. 1 (60). Pp. 38-43.

6. Khan A. O., Nikitin K. A. Integrated information systems: an innovative path to digital transformation. Bulletin of Science. 2024. V. 4. No 5 (74). Pp. 1569-1577.

7. National Information System on Cotton Genepool is Base of Their Effective Use. https://www.researchgate.net/publication/299366013_Nacionalnaa_informacionnaa_sistema_po_genofondu_hlopcatnika-_osnova_ego_effektivnogo_ispolzovania_National_Information_System_on_Cotton_Genepool_is_Base_of_Their_Effective_Use

8. Privalov F. I., Matys I. S., Avakyan A. E. Information support of genetic resources of Belarus and Armenia. Agriculture and breeding in Belarus. 2023. № 59. Pp. 239-246.

9. Ovchinnikov A. S., Kimsanbaev O. Kh., Konotopskaya T. M. Ways to create environmentally friendly cotton varieties for the conditions of the Lower Volga region. Ecological and meliorative aspects of rational nature management. Volgograd, 2017. V. 4. Pp. 3-8.

10. Zaruk N. F., Bystrenina I. E., Kharitonova A. E. Improving the process of managing the production of organic products using an intelligent information system. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2023. № 6. Pp. 214-222.

11. Kochetkova O. V., Podkovyrov I. Yu., Krivopustenko A. E. Functional modeling of cotton growing processes. News of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2017. № 3 (47). Pp. 258-266.

12. Kochetkova O. V., Podkovyrov I. Yu., Goncharov I. Yu. Ontological engineering in the field of cotton breeding. Izvestia NV AUK. 2021. No 2 (62). Pp. 366-378.

13. Rudnitsky A. A. Development of an information system for breeding new cotton varieties. XXVII Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd Region: collection of conference materials. Volgograd, 2022. Pp. 193-195.

14. Prokhorenkov P. A., Reger T. V. Construction of an adaptive model of a fuzzy logical inference system using selection series. Modern science-intensive technologies. 2023. № 12-1. Pp. 75-80.

Информация об авторах
Овчинников Алексей Семёнович, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru
Кочеткова Ольга Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: ovk555@bk.ru
Подковыров Игорь Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, руководитель центра прикладной генетики и селекции хлопчатника, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: cottonvolgau@list.ru
Овчинников Максим Алексеевич, кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru
Authors' Information
Ovchinnikov Aleksey Semenovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru
Kochetkova Olga Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: ovk555@bk.ru
Podkovyrov Igor Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Center for Applied Genetics and Cotton Breeding, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: cottonvolgau@list.ru
Ovchinnikov Maksim Alekseevich, Candidate of Economic Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-03

THE ILOVLYA RIVER CURRENT ECOLOGICAL STATE ASSESSMENT

Belyaev A. I., Mezhevova A. S., Khrenov I. D.

Federal Research Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: mezhevova@vfanc.ru

Received 06.03.2026 Submitted 05.05.2026

This work was carried out within the framework of the state assignment for research work at the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Project No. FNFE-2025-0004) "Theoretical Substantiation and Concept of Adaptive Solutions for Managing Phytoecological Resources of Agricultural Landscapes in the Arid Zone of the Russian Federation at the Basin Level, Using System-Dynamic Modeling of Soil-Hydrological Processes and Multifactor Analysis of the Impact of Climate Change and Anthropogenic Loads."

Summary
Water bodies degrade due to pollutants. This study assessed the Ilovlya River using certified chemical analysis and the Geo accumulation Index. Water samples exceeded Maximum Permissible Concentrations for sulfates, phosphates, and strontium ions. Bottom sediments were classified as unpolluted to moderately polluted according to Müller's classification.

Abstract
Introduction. Water bodies, such as rivers, lakes, and reservoirs, play a crucial role in the ecosystems and economies of countries worldwide. However, in recent decades, degradation processes affecting water bodies have intensified, potentially leading to serious negative consequences for the environment and humanity as a whole. The current state of surface water quality is characterized by several issues, one of which is the influx of large volumes of pollutants. Research objective: to assess the impact of anthropogenic activities on the ecological state of the Ilovlya River. **Materials and methods.** The chemical composition of water and bottom sediments was analyzed using approved and certified research methods. The ecological status of the water body was assessed by comparing the actual concentrations of chemical substances with their Maximum Permissible Concentrations (MPC). The contamination level of bottom sediments was evaluated using the Geo-accumulation Index (Igeo). **Results.** It has been established that the investigated water samples exhibited exceedances of maximum permissible concentrations (MPCs) for sulfates, phosphates, and strontium ions. These findings underscore the need to develop a specialized monitoring system for sources of diffuse pollution affecting water bodies, as well as a framework for their classification and regulation.

Keywords: *rivers ecological state assessment, river water chemical composition, bottom sediments chemical composition, river pollution, geochemical accumulation index.*

Citation. Belyaev A. I., Mezhevova A. S., Khrenov I. D. The Ilovlya river current ecological state assessment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 37-44 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-03.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' Contribution. All authors contributed directly to the planning, execution, or analysis of this study. All authors have read and approved the final manuscript.
Conflict of Interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 628.1:556.53

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ИЛОВЛЯ

Беляев А. И., *доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН*
Межевова А. С., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Хренов И. Д., *инженер-исследователь*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН FNFE-2025-0004 Теоретическое обоснование и концепция адаптивных решений по управлению фито-экологическими ресурсами агроландшафтов засушливой зоны РФ на бассейновом уровне, с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, многофакторного анализа влияния изменения климата и антропогенных нагрузок.

Актуальность. Водные объекты, такие как реки, озера и водохранилища, играют важную роль в экосистеме и экономике разных стран мира. Однако в последние десятилетия усилились процессы деградации водных объектов, что может привести к серьезным негативным последствиям для окружающей среды и человечества в целом. Современное состояние качества поверхностных вод характеризуется рядом проблем, одна из которых – поступление больших объемов загрязняющих веществ. Цель исследования: оценить влияние антропогенного воздействия на экологическое состояние реки Иловля. **Материалы и методы.** Анализ химического состава воды и донных отложений проводили при помощи утвержденных и аттестованных методик исследований. Оценку состояния водного объекта проводили путем сравнения фактического содержания химических веществ с их предельно допустимыми концентрациями. Оценку уровня загрязненности донных отложений проводили с помощью индекса геоаккумуляции элементов. **Результаты.** Установлено, что в исследуемых пробах воды было зафиксировано превышение предельно допустимых концентраций сульфатов, фосфатов и иона стронция. Полученные результаты указывают на необходимость разработки специальной системы мониторинга источников диффузного загрязнения водных объектов, а также их классификации и регулирования.

***Ключевые слова*:** *оценка экологического состояния рек, химический состав речной воды, химический состав донных отложений, загрязнение рек, индекс геоаккумуляции элементов.*

Цитирование. Беляев А. И., Межевова А. С., Хренов И. Д. Оценка современного экологического состояния реки Иловля. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 37-44. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-03.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последние десятилетия проблема засух приобретает все большее значение в глобальном контексте. Особенно обостряется задача адекватного реагирования на рост засушливости в связи с климатическими изменениями, которые приводят к деградации земель [1]. По данным Группы высокого уровня по водным ресурсам, около 40 процентов населения мира страдает от нехватки воды, и в результате этого к 2030 году до 700 миллионов человек могут стать мигрантами [1]. Среди основных мер по смягчению последствий засухи – мониторинг и прогноз доступности водных ресурсов, а также сохранение и поддержание экологического качества вод. В связи с этим исследования речных систем и отслеживание изменений химического состава вод имеет важное научное и практическое значение. Полученные результаты позволят сформировать научные основы рациональной системы мониторинга, оценки экологического состояния водных экосистем и прогноза тенденций их изменения. В контексте устойчивого управления водными ресурсами опубликовано множество работ, в которых подчеркивается важность оценки экологического состояния малых рек и других водных объектов [2-7].

Сохранение и рациональное использование водных объектов – приоритетная задача. Одними из факторов, оказывающих негативное воздействие на них, являются руслорегулирующие сооружения, распашка склоновых земель в водоохранных зонах рек и озер, размещение предприятий на прибрежных территориях и выпас скота. Однако необходимо также отметить, что на долю диффузных источников приходится не менее половины всех загрязнений, поступающих в водные объекты. При этом проблеме диффузного загрязнения уделяется недостаточно внимания. В настоящее время в России источники диффузного загрязнения не подлежат мониторингу, регулированию и контролю. В результате это приводит к неэффективности разрабатываемых водоохранных мероприятий.

Река Иловля, причисляемая к малым рекам России, серьезно страдает от антропогенного воздействия: вблизи реки расположены населенные пункты, а также сельскохозяйственные объекты и промышленные предприятия. В проведенных ранее исследованиях отмечается, что река Иловля относится к умеренно загрязненным водным объектам [8].

Как известно, донные отложения являются конечным звеном ландшафтно-геохимических сопряжений, поэтому в значительной степени отражают геохимические особенности водосборной площади [9-10]. Также известно, что донные отложения, будучи важнейшим компонентом аквальных экосистем, могут являться, с одной стороны, индикатором степени загрязнения водной толщи, а с другой – источником ее вторичного загрязнения [11].

Материалы методы. Для оценки химического состава воды пробы отбирали согласно ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб» и ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод». Отбор воды осуществлялся при помощи дискретного пробоотборника жидкости. Схема отбора представлена на (рисунке 1).

Координаты отбора проб: Точка 1 (Т.1) – 50°26'51"с.ш. 45°23'16"в.д., Точка 2 (Т.2) – 50°17'24"с.ш. 45°19'29"в.д., Точка 3 (Т.3) – 50°17'26"с.ш. 45°19'43"в.д., Точка 4 (Т.4) – 50°6'35"с.ш. 45°5'10"в.д., Точка 5 (Т.5) – 49°48'53"с.ш. 44°28'50"в.д., Точка 6 (Т.6) – 49°39'13"с.ш. 44°18'9"в.д., Точка 7 (Т.7) – 49°13'60"с.ш. 43°56'4"в.д., Точка 8 (Т.8) – 49°20'25"с.ш. 44°0'42"в.д.

При выполнении исследований использовалась приборная база ФНЦ агроэкологии РАН: дискретный пробоотборник, pH-метр Анион 4100, система капиллярного электрофореза 105-М, система капиллярного электрофореза 205, атомно-абсорбционный спектрометр МГА-100, портативный рентгенофлуоресцентный анализатор SciAps X-Series X-200.



Рисунок 1 – Схема отбора проб
Figure 1 – Sampling scheme

Оценку уровня загрязненности донных отложений проводили с помощью индекса геоаккумуляции, предложенного Мюллером (Müller, 1969). Индекс геоаккумуляции элементов [12] рассчитывали по формуле:

$$I_{geo} = log2 \frac{C_n}{1{,}5\ B_n}, \quad (1)$$

где: C_n – измеренная концентрация n-го элемента; B_n – его кларк в земной коре (Брукс, 1982).

Коэффициент 1,5 введен для исключения влияния возможных искажений от литологических эффектов. В соответствии с величинами I_{geo} принята следующая классификация загрязненности донных отложений (Брукс, 1982) [12]:

< 0 – практически не загрязненные,
0-1 – от незагрязненных до среднезагрязненных,
1-2 – среднезагрязненные,
2-3 – от средне- до сильнозагрязненных,
3-4 – сильнозагрязненные,
4-5 – от сильно- до экстремально загрязненных,
> 5 – экстремально загрязненные.

Результаты. Анализ проб воды предусматривал исследование по 16 показателям (pH, Cl^-, F^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}, NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^+, K^+, Li^+, Ba^{2+}, Sr^{2+} , гидрокарбонаты).

Данные представлены в (таблице 1).

Таблица 1 – Химический состав воды (поверхностный слой)
Table 1 – Chemical composition of water (surface layer)

Показатель / Indicator	(НД)* / *Regulatory documentation	ПДК** / Maximum permissible concentrations	Т.1	Т.2	Т.3	Т.4	Т.5	Т.6	Т.7	Т.8
pH	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97	***	7,62	7,75	7,99	8,18	7,99	8,13	8,16	8,10
Аммоний, мг/л / Ammonium, mg / l	ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000	0,5	2,6	менее 0,5 / less than 0.5						
Калий, мг/л / Potassium, mg / l		50,0	7,8	7,1	4,9	6,72	6,8	6,0	4,32	4,92
Натрий, мг/л / Sodium, mg / l		120	95	87	94	120	125	116	94	107
Магний, мг/л / Magnesium, mg / l		40,0	28,9	28,2	29,2	37,6	34	32	23,1	26,4
Кальций, мг/л / Calcium, mg / l		180	105	119	118	139	114	114	101	113
Литий, мг/л / Lithium, mg / l		0,08	менее 0,015 / less than 0.015	0,023	0,024	менее 0,015 / less than 0.015				
Барий, мг/л / Barium, mg / l		0,74	менее 0,1 / less than 0.1							
Стронций, мг/л / Strontium, mg / l		0,40	0,82	0,84	0,92	0,96	0,90	0,92	0,72	0,85
Хлорид, мг/л / Chloride, mg / l	ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18	300	136	130	132	157	186	190	144	161
Сульфат, мг/л / Sulfate, mg / l		100	122	111	134	214	174	165	138	149
Нитрит, мг/л / Nitrite, mg / l		0,08	менее 0,2 / less than 0.2							
Нитрат, мг/л / Nitrate, mg / l		40,0	менее 0,2 / less than 0.2							
Фторид, мг/л / Fluoride, mg / l		0,75	0,42	0,39	0,39	0,43	0,40	0,36	0,30	0,31
Фосфат, мг/л / Phosphate, mg / l		0,15	1,05	3,1	1,43	0,58	1,02	0,79	0,66	0,40
Гидрокарбонаты, мг/л / Hydrocarbonate, mg / l	ПНД Ф 14.1:2:3.99-97	-	327	366	365	356	281	275	275	264

* Нормативная документация / *Regulatory documentation
**Приказ Минсельхоза России № 552 от 13.12.2016 г. / **Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552 dated 13.12.2016
***Должен соответствовать фоновому значению показателя для воды водного объекта рыбохозяйственного значения /
***Must correspond to the background value of the indicator for water of a water body of fishery importance

Полученные значения исследуемых показателей химического состава воды сравнивали с соответствующими значениями, которые указаны в нормативе качества водных объектов рыбохозяйственного значения (Приказ Минсельхоза России № 552 от 13.12.2016).

Наибольшую часть исследуемой территории занимают антропогенно-природные комплексы, которые представлены территориями агрохозяйственного воздействия и природно-техногенные комплексы – районы подверженные техногенному загрязнению вследствие нефте- и газодобычи. В результате антропогенного воздействия изменяется химический состав почвы и поверхностных вод.

По общепринятой классификации природных вод (на основе данных об общей минерализации) было установлено, что исследуемый водный объект относится к категории пресных вод. Значение pH варьировалось от 7,62 до 8,18 в разных точках отбора.

По классификации О. А. Алекина (Алекин, 1953), вода соответствует гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, второму типу. Согласно данной классификации, можно присвоить индекс:

$$CCl_{II}^{Ca\ 9}{}_{0.73} \quad (2)$$

где: С – гидрокарбонатный класс; Cl – второй по величине анион, в пределах 5 %-экв. уступающий основному иону; Ca – группа кальция, II – тип второй, 0,73 – величина минерализации, 9 – общая жесткость.

Содержание ионов калия, кальция, магния, лития, бария, хлорида, фторида, нитрита, нитрата и гидрокарбоната в исследуемых пробах укладывалось в нормативы, не превышая ПДКрх.

Содержание ионов стронция превышало ПДКрх по всем исследуемым точкам. При допустимом содержании в поверхностных водах стронция 0,40 мг/л фактические концентрации составили от 0,72 мг/л до 0,96 мг/л. Данный факт с большей долей вероятности можно объяснить наличием стронция в горных породах. В биосфере стронций накапливается преимущественно в карбонатных породах. В подземные воды он попадает в результате растворения и выщелачивания горных пород. При этом вещества находящиеся в подземных водах, могут выноситься фильтрационным потоком в поверхностные воды. Однако распространение стронция в природных водах практически не изучается, а его повышенное содержание в почвах, воде, продуктах питания может вызывать серьезные заболевания у населения.

Высокую степень воздействия на водный объект оказывает также диффузный сток с сельскохозяйственных территорий. Площади, занятые пахотными угодьями, регулярно подвергаются антропогенным нагрузкам вследствие проведения различных агротехнических мероприятий, а также нерационального применения химических средств защиты растений и минеральных удобрений, которые загрязняют почву. Далее в результате смыва с полей удобрений загрязняющие вещества могут попадать в водные объекты. Особую опасность представляют нитраты, нитриты, фосфаты. Анализ данных свидетельствует о превышении в пробах воды содержания фосфатов по всем исследуемым точкам. Фактические значения колебались от 0,40 мг/л до 3,1 мг/л (ПДКрх – 0,15 мг/л), при этом самая высокая концентрация отмечалась в точке № 3 в районе села Умет Камышинского района. Высокое содержание фосфат-ионов приводит к эвтрофикации водоемов вследствие чего ухудшается качество воды, происходит изменение структуры гидробиоценоза.

Анализ данных на содержание сульфатов в воде свидетельствует о превышении предельно допустимых концентраций. В зависимости от точек отбора значения находились в пределах от 111 мг/л до 214 мг/л при допустимом значении – 100 мг/л. Значительное превышение зафиксировано в точке № 4 (214 мг/л) в районе села Петрунино Камышинского района.

Высокие концентрации сульфатов и фосфатов в воде могут быть также следствием сброса сточных вод в реку в результате функционирования очистных сооружений в г. Петров Вал в Камышинском районе. В настоящее время на многих станциях очистки существует серьезная проблема нехватки средств для модернизации старых очистных сооружений или оснащения предприятий современным оборудованием с целью эффективной обработки и обеззараживания стоков.

Ключевым аспектом при оценке экологического состояния водных экосистем является анализ химического состава донных отложений. Данные представлены в (таблице 2).

Таблица 2 – Химический состав донных отложений
Table 2 – Chemical composition of bottom sediments

Показатель, мг/кг / Indicator, mg/kg	НД* / *Regulatory documentation	Т.1	Т.2	Т.3	Т.4	Т.5	Т.6	Т.7	Т.8
Аммоний / Ammonium	ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.74-2012	2,89	3,01	4,10	3,60	2,50	3,12	2,63	4,18
Калий / Potassium		5,0	49,1	48,4	57,8	77	40,1	42,6	9,8
Натрий / Sodium		27,7	44,7	66	68	18	20	73	28,8
Магний / Magnesium		10,1	180	54,3	73	13	52,3	57,9	15,6
Кальций / Calcium		61,6	2460	427	465	70	125	418	97
Хлорид / Chloride	ПНД Ф 16.1:2:2.3:2.2.69-10	35,7	43,2	26,9	44,6	123	70	57,2	41,2
Сульфат / Sulfate		102	7300	820	2620	1370	120	950	78
Нитрат / Nitrate		20,1	менее 3 / less than 3	27,3	менее 3 / less than 3	37,9	37,2	39,7	13
Фосфат / Phosphate		менее 3 / less than 3	менее 3 / less than 3	4,94	менее 3 / less than 3	менее 3 / less than 3	менее 3 / less than 3	менее 3 / less than 3	менее 3 / less than 3

* Нормативная документация / *Regulatory documentation

В исследуемых донных отложениях был обнаружен широкий диапазон концентраций химических веществ. Неоднородный состав донных отложений связан с взаимодействием физических, химических, биологических факторов, а также факторов, определяющих формирование осадочного материала.

В исследуемых пробах № 2, № 4, № 5 было зафиксировано высокое содержание сульфатов. При этом самая максимальная концентрация отмечалась в точке № 2 – 7300 мг/кг. В точках № 4 и № 5 концентрации были заметно ниже, но оставались на достаточно высоком уровне – 2620 и 1370 мг/кг соответственно. Высокое содержание сульфатов в данных точках отбора может быть связано с протеканием анаэробного бактериального процесса сульфатдеструкции в результате стагнации нижних слоев водных масс или с поступлением сульфатов с грунтовыми водами из подстилающих пород.

Таблица 3 – Средняя концентрация тяжелых металлов в донных отложениях
Table 3 – Average concentration of heavy metals in bottom sediments

Элемент / Element	НД* / *Regulatory documentation	Средняя концентрация, мг/кг / Average concentration, mg/kg	Кларк элементов в земной коре (отложения), мг/кг [13] / Clark elements in the earth's crust (deposits), mg/kg [13]	Igeo**
Хром / Chromium	Руководство по эксплуатации портативных рентгенофлуоресцентных анализаторов SciAps X-Series X-200 / User Manual for SciAps X-Series X-200 Portable X-Ray Fluorescence Analyzers	112,2	130	-0,80
Марганец / Manganese		871	760	-0,39
Никель / Nickel		43,4	95	-1,72
Медь / Copper		25,6	57	-1,74
Цинк / Zinc		153,6	80	0,53
Ртуть / Mercury		0,2	0,04	1,74
Ванадий / Vanadium		113	130	-0,79
Кадмий / Cadmium		1	0,5	0,42
Свинец / Lead		19	20	-0,66
Стронций / Strontium		166,8	450	-2,02
Барий / Barium		480	690	-1,11
Мышьяк / Arsenic		5,08	6,6	-0,96

*Нормативная документация / *Regulatory documentation
**Индекс геоаккумуляции / **Igeo

Анализ полученных результатов по фактическому содержанию металлов свидетельствует о том, что концентрация марганца, цинка, ртути, кадмия превышает кларк этих элементов в земной коре (таблица 3). Полученные данные также позволили рассчитать индекс геоаккумуляции и оценить уровень их загрязнения. Величина индекса геоаккумуляции варьирует от -2,02 до 1,74 (таблица 3). Согласно классификации Мюллера донные отложения можно отнести к классу – от незагрязненных до среднезагрязненных. Данные таблицы 3 показывают, что больше всего в исследуемых донных отложениях накапливаются ртуть, кадмий и цинк. Наличие иона стронция в пробах донных отложений может быть обусловлено протеканием естественных процессов – выщелачивание горных пород.

Заключение. Выявлены потенциально-критические показатели, по которым зафиксированы превышения ПДКрх: содержание фосфатов составило от 0,40 мг/л до 3,1 мг/л при допустимом значении 0,15 мг/л; содержание сульфатов от 111 мг/л до 214 мг/л при допустимом значении 100 мг/л. Полученные результаты указывают на необходимость разработки подходов к мониторингу качества поверхностных вод с учетом диффузного загрязнения, установление условий и степени влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на качество воды. Также необходимо ускорить реконструкцию биологических очистных сооружений на реке Иловля в границах городского поселения Петров Вал и усилить контроль за сбрасываемыми сточными водами.

Превышение ПДКрх стронция в поверхностных водах с большей долей вероятности можно объяснить его наличием в горных породах. Миграция стронция в воду обусловлена природными процессами.

Анализ химического состава донных отложений указывает на его неоднородность. Содержание элементов сильно варьировалось в зависимости от точек отбора. Больше всего в донных отложениях накапливаются ртуть, кадмий, цинк, кальций и сульфаты. Также, можно полагать, что при определенных условиях (ветровое взмучивание, изменение водности) донные отложения могут являться источником вторичного загрязнения водной толщи.

На основе рассчитанного индекса геоаккумуляции элементов было установлено, что исследуемые донные отложения можно отнести к классу незагрязненных и среднезагрязненных.

Для снижения диффузного выноса биогенных веществ в водный объект с сельскохозяйственных полей рекомендуется пересмотреть структуру севооборотов в плане увеличения доли многолетних трав. Необходимо также строго соблюдать дозы, сроки и технологии внесения минеральных и органических удобрений на поля сельскохозяйственного назначения.

Conclusion. Potentially critical indicators were identified, for which the MPCrkh exceeded: the phosphate content was from 0.40 mg/l to 3.1 mg/l with a permissible value of 0.15 mg/l; the sulfate content was from 111 mg/l to 214 mg/l with a permissible value of 100 mg/l. The results obtained indicate the need to develop approaches to monitoring the quality of surface water, taking into account diffuse pollution, establishing the conditions and degree of influence of certain types of economic activity on water quality. It is also necessary to accelerate the reconstruction of biological treatment facilities on the Ilovlya River within the boundaries of the urban settlement of Petrov Val and to strengthen control over discharged wastewater.

The excess of strontium in surface water above the MPC can most likely be explained by its presence in rocks. The migration of strontium into water is caused by natural processes. The analysis of the chemical composition of bottom sediments indicates that it is heterogeneous. The content of elements varied greatly depending on the sampling points. Mercury, cadmium, zinc, calcium, and sulfates are the most abundant elements in bottom sediments.

It can also be assumed that under certain conditions (wind-induced agitation, changes in water content), bottom sediments can be a source of secondary pollution in the water column.

Based on the calculated geochemical accumulation index, it was determined that the studied bottom sediments can be classified as uncontaminated and moderately contaminated.

To reduce the diffuse release of biogenic substances into water bodies from agricultural fields, it is recommended to review the crop rotation structure to increase the proportion of perennial grasses. It is also necessary to strictly follow the doses, timing, and technology of applying mineral and organic fertilizers to agricultural fields.

Библиографический список

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидации последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). М.: ООО «Издательство МБА», 2021. Т. 3. 700 с.
2. Kharko P. A., Matveeva V. A. Bottom sediments in a river under acid and alkaline wastewater discharge. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2021. V. 22.
3. Isakov A. E., Chukaeva M. A. Ecological and geochemical peculiarities of surface water transformation in the area of the enterprise AO Apatit impact. International Journal of Ecology and Development. 2016. V. 31. No 2. Pp. 90-98.
4. Ясинский С. В., Кашутина Е. А., Сидорова М. В. Диффузное загрязнение водных объектов равнинных территорий: проблемы оценки. Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 1. С. 115-130.

5. Межевова А. С. Современное экологическое состояние водных объектов Волго-Ахтубинской поймы (на примере ерика Дудаченок). Экология и промышленность России. 2024. Т. 28. № 3. С. 60-65.
6. Коровин А. А., Окрут С. В., Степаненко Е. Е. Загрязнение донных отложений как индикатор экологического состояния поверхностных водных объектов. Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России. 2022. С. 108-110.
7. Иванова В. И., Кониева Г. Н. Факторы формирования и элементы химического состава водоемов Кумо-Манычской впадины. Научно-агрономический журнал. 2021. № 2 (113). С. 47-50.
8. Мартынова И. Е., Прокшиц В. Н. Изучение влияния сельскохозяйственной деятельности в пойме р. Иловля на химический состав речной воды. Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов: сборник статей VII Всероссийской с международным участием науч.-практ. конференции. М.: Планета, 2017. С. 383-388.
9. Закруткин В. Е., Решетняк О. С., Бакаева Е. Н. Гидроэкологические особенности поверхностных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса. Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. № 3. С. 451-460.
10. Закруткин В. Е., Скляренко Г. Ю., Бакаева Е. Н. и др. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества: монография. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та. 2016. 172 с.
11. Бакаева Е. Н., Тарадайко М. Н. Комплексное изучение донных отложений – необходимая составляющая гидробиологического мониторинга. Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. 2017. С. 299-303.
12. Иванов Д. В., Валиев В. С., Зиганшин И. И., Шамаев Д. Е., Паймикина Э. Е., Марасов А. А., Маланин В. В., Хасанов Р. Р., Унковская М. А. Структурная взаимосвязь гранулометрического состава, содержания органического вещества и тяжелых металлов в донных отложениях. Русский журнал прикладной экологии. 2020. № 2. С. 23-30.

References

1. National Report "Global Climate and Soil Cover of Russia: Manifestations of Drought, Measures for Prevention, Control, Mitigation of Consequences, and Adaptation Activities (Agriculture and Forestry)". Moscow: MBA Publishing House LLC, 2021. V. 3. 700 p.
2. Kharko P. A., Matveeva V. A. Bottom sediments in a river under acid and alkaline wastewater discharge. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2021. V. 22.
3. Isakov A. E., Chukaeva M. A. Ecological and geochemical peculiarities of surface water transformation in the area impacted by the enterprise JSC Apatit International Journal of Ecology and Development. 2016. V. 31. No. 2. Pp. 90-98.
4. Yasininsky S. V., Kashutina E. A., Sidorova M. V. Diffuse Pollution of Water Bodies in Plain Territories: Assessment Challenges. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic Series. 2023. V. 87. No. 1. Pp. 115-130.
5. Mezhevoa A. S. Current ecological state of water bodies in the Volga-Akhtuba floodplain (case study of the Dudachenok erik). Ecology and Industry of Russia. 2024. V. 28. No. 3. Pp. 60-65.
6. Korovin A. A., Okrut S. V., Stepanenko E. E. Contamination of bottom sediments as an indicator of the ecological state of surface water bodies. Natural Resource Potential, Ecology and Sustainable Development of Russian Regions. 2022. Pp. 108-110.
7. Ivanova V. I., Konieva G. N. Factors of formation and chemical composition elements of water bodies in the Kuma-Manych depression. Scientific-Agronomic Journal. 2021. No. 2 (113). Pp. 47-50.
8. Martynova I. E., Prokshits V. N. Study of the impact of agricultural activities in the floodplain of the Ilovlya River on the chemical composition of river water. Study, Conservation and Restoration of Natural Landscapes: Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Moscow: Planeta, 2017. Pp. 383-388.
9. Zakrutkin V. E., Reshetnyak O. S., Bakaeva E. N. Hydro-ecological features of surface waters in coal-industrial territories of the Eastern Donbas. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographic Series. 2020. V. 84. No. 3. Pp. 451-460.
10. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Yu., Bakaeva E. N. et al. Surface and Groundwater within Anthropogenically Disturbed Geosystems of the Eastern Donbas: Formation of Chemical Composition and Quality Assessment: Monograph. Rostov-on-Don: Southern Federal University Press, 2016. 172 p.
11. Bakaeva E. N., Taradaiko M. N. Comprehensive study of bottom sediments as a necessary component of hydrobiological monitoring. Water Resources: New Challenges and Solutions. 2017. Pp. 299-303.
12. Ivanov D. V., Valiev V. S., Ziganshin I. I., Shamaev D. E., Paymikina E. E., Marasov A. A., Malanin V. V., Khasanov R. R., Unkovskaya M. A. Structural relationship between granulometric composition, organic matter content, and heavy metals in bottom sediments. Russian Journal of Applied Ecology. 2020. No. 2. Pp. 23-30.

Информация об авторах

Беляев Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: mezhevova@vfanc.ru
Межевова Алина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: mezhevova@vfanc.ru
Хренов Игорь Дмитриевич, инженер-исследователь, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), e-mail: hrenov-i@vfanc.ru

Authors' Information

Belyaev Alexander Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Leading Researcher, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail : mezhevova@vfanc.ru
Mezhevova Alina Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Leading Researcher, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail : mezhevova@vfanc.ru
Khrenov Igor Dmitrievich, Research Engineer, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), e-mail: hrenov-i@vfanc.ru

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

THE CHICKPEA AMINO ACID AND MICROELEMENT COMPOSITION DYNAMICS DURING THE BREEDING PROCESS

Slozhenkina M. I., Kalinina N. V., Gorlov I. F., Balashov A. V., Mosolova N. I.

Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ladyn0910@mail.ru

Received 20.02.2026 Submitted 22.04.2026

The study was carried out under a Grant from the Russian Science Foundation 25-16-00303.

Abstract

Introduction. In the context of ongoing sanctions, in order to ensure stable economic development, one of the strategic goals of ensuring food security is the development of plant breeding, seed production, as well as the development of new species, varieties and hybrids of agricultural crops. Object of study. Chickpea seeds of different years of selection. **Materials and methods.** Nutritional studies were carried out in an accredited testing laboratory at the State Scientific Institution Research Institute of Meat and Vegetable Growing (NIIMMP) using the method of measuring the mass fraction of amino acids using the Kapel capillary electrophoresis system M 04-38-2009. The chemical composition was determined at the ANO Center for Biomedicine using Dr. Skalny's method of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Equipment: Quadrupole mass spectrometer Elan 9000 (Perkin Elmer, USA), atomic emission spectrometer Optima 2000 DV (Perkin Elmer, USA). **Results and conclusions.** According to the results of the conducted selection work, the increase in the mass fraction of protein by 1.6 % was achieved in comparison with Privo 1 and by 2.32 % with the Volzhanin 50 variety. In terms of lysine, the advantage was 47 and 131 mg % in comparison with the chickpea of the Privo 1 and Volzhanin 50 varieties, in terms of methionine, 18 and 15 mg %, respectively. It was also found that the chickpea of the latest selection surpassed its predecessors in histidine by 136 and 213 mg %, or almost 2 times; alanine 158 and 191, serine 348 and 302, proline 30 and 206, threonine 31 and 169, and tryptophan – by 12 and 19 mg %. This improvement is significant considering that the amino acids lysine, methionine, threonine, and tryptophan are critical. Compared to the seeds of the Privo 1 and Volzhanin 50 varieties, the Privo 11 chickpeas had the highest levels of essential macro- and microelements: 42 and 437 μg/g calcium, 510 and 98 μg/g phosphorus, 0.66 and 0.12 μg/g selenium, and 12.13 and 14.71 μg/g iron.

Keywords: *chickpea breeding, chickpea chemical composition, chickpea varieties, chickpea nutritional value, feed protein, chickpea amino acid composition.*

Citation. Slozhenkina M. I., Kalinina N. V., Gorlov I. F., Balashov A. V., Mosolova N. I. The chickpea amino acid and microelement composition dynamics during the breeding process. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 45-51 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-04.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' contribution. All authors participated in the implementation and analysis of the obtained research results.
Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 631.527:635.657

ДИНАМИКА АМИНОКИСЛОТНОГО И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА НУТА В ПРОЦЕССЕ СЕЛЕКЦИИ

[1]**Сложенкина М. И.,** *доктор биологических наук, член-корреспондент РАН*
[1]**Калинина Н. В.,** *кандидат биологических наук*
[1]**Горлов И. Ф.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
[2]**Балашов А. В.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[1]**Мосолова Н. И.,** *доктор биологических наук, главный научный сотрудник*

[1]ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН
с. Соленое Займище, Черноярский район, Астраханская область, Российская Федерация

Исследование выполнено по Гранту РНФ 25-16-00303.

Актуальность. В условиях продолжающихся санкций, с целью стабильного развития экономики, одной из стратегических целей обеспечения продовольственной безопасности является развитие селекции растений, семеноводства, а также разработка новых видов, сортов и гибридов сель-

скохозяйственных культур. Объект исследования: семена нута разных лет селекции. **Материалы и методы.** Исследования по питательности осуществлялись в аккредитованной испытательной лаборатории в условиях ГНУ НИИММП по методике измерений массовой доли аминокислот с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель» М 04-38-2009. По химическому составу – в АНО Центр биотической медицины по методу доктора Скального методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП). Оборудование: Квадрупольный масс-спектрометр Elan 9000 (Perkin Elmer, США), атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США). **Результаты и выводы.** По итогам проведенной селекционной работы был достигнут рост массовой доли белка на 1,6 % по сравнению с сортом Приво 1 и на 2,32 % с сортом Волжанин 50. По лизину преимущество составило 47 и 131 мг % в сравнении с нутом сортов Приво 1 и Волжанин 50, по метионину – соответственно 18 и 15 мг %. Также установлено, что нут последней селекции превосходил своих предшественников по гистидину на 136 и 213 мг % или почти в 2 раза; аланину – 158 и 191, серину – 348 и 302, пролину – 30 и 206, треонину – 31 и 169, и триптофану – на 12 и 19 мг %. Данное улучшение является существенным, если учесть, что аминокислоты лизин, метионин, треонин, триптофан относятся к ряду критических. По сравнению с семенами сортов Приво 1 и Волжанин 50 нут сорта Приво 11 отличался наибольшим количеством незаменимых макро- и микроэлементов: кальция – на 95 и 137 мкг/г, фосфора – на 510 и 98, селена – на 0,66 и 0,12, железа – на 12,13 и 14,71 мкг/г.

Ключевые слова: *селекция нута, химический состав нута, сорта нута, питательная ценность нута, кормовой белок, аминокислотный состав нута.*

Цитирование. Сложенкина М. И., Калинина Н. В., Горлов И. Ф., Балашов А. В., Мосолова Н. И. Динамика аминокислотного и микроэлементного состава нута в процессе селекции. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 45-51. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-04.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. Все авторы принимали участие в выполнении, анализе полученных результатов исследований.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Обеспечение населения РФ качественными пищевыми продуктами с целью гарантии полноценного питания и развития культуры здорового образа жизни является одной из важных проблем продовольственной безопасности. В условиях продолжающихся санкций, с целью стабилизации экономики был принят ряд нормативных актов. В соответствии с Государственной программой развития сельского хозяйства, Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации, от 21 января 2020 г. № 20, одной из целей обеспечения продовольственной безопасности является развитие селекции растений, семеноводства, а также разработка новых видов, сортов и гибридов сельскохозяйственных культур. В связи со сложившейся зависимостью АПК от импорта семян, селекция основных кормовых культур должна базироваться в России [1, 2]. По мнению В. И. Фисинина, необходим новый подход к кормам, ограниченно или редко используемым в рационах сельскохозяйственных животных и птицы с учетом географических особенностей разных регионов страны [3].

Нут является довольно экономичной и неприхотливой культурой, приспособленной к условиям жаркого климата и имеющей определенные перспективы по использованию в рационах сельскохозяйственной птицы [3, 4-8]. Его возделывание экономически выгодно: так, если стоимость урожая, полученного в 2025 году с каждой тысячи гектаров яровой пшеницы и ячменя составила 2,4-2,6 млн руб., то нута – 5,6 млн руб. По выходу белка с гектара нут вдвое превосходит основную зернофуражную культуру – ячмень [5, 6]. Селекционерами ВолГАУ под руководством доктора сельскохозяйственных наук, профессора ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» В. В. Балашова, при поддержке ООО Научно-производственная система «Нут», созданы новые сорта нута: Приво 1, Волжанин 50, Приво 11. Средняя урожайность сорта Приво 1 составляет 26,9 ц/га, масса 1000 семян – 246-295 г, Волжанин 50 – 15,6 ц/га, масса 1000 семян – 248-356 г, Приво 11 – 28,4 ц/га, масса 1000 семян – 252-312 г. Сорта Приво 1 и Приво 11 рекомендованы к использованию во всех регионах Российской Федерации, Волжанин 50 – преимущественно на юге России (Волгоградская область, Калмыкия и др.) [5].

Известно, что дисбаланс необходимых питательных веществ ведет к нарушению биохимических процессов, что снижает продуктивность и может привести к заболеваниям животных [9, 10]. Протеин, в котором соотношение незаменимых аминокислот близко к потребностям организма считается полноценным. Как правило, протеиновая недостаточность рациона сводится к нехватке содержания в ингредиентах незаменимых аминокислот, кото-

рые не могут быть синтезированы организмом. По мнению авторов, при дефиците в рационе незаменимых аминокислот, дальнейшее его обогащение протеином, жирами, углеводами является бесполезным [9-11]. Исследованиями подтверждено, что нехватка лимитирующих аминокислот в полнорационных комбикормах отрицательно сказывается на усвоении всех компонентов рациона [11-14].

Одним из путей обогащения кормового рациона лимитирующими аминокислотами и набором основных микроэлементов является эффективная селекционная работа по увеличению уровня накопления данных аминокислот и основных микроэлементов в составе зерна.

Цель исследований – изучить аминокислотный и микроэлементный состав нута разных лет селекции, дать сортам биологическую оценку их питательной ценности применительно к использованию в рационах животных и птицы.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследований являлись зерна нута разных лет селекции. Исследования по питательности осуществлялись в аккредитованной испытательной лаборатории в условиях ГНУ НИИММП по методике измерений массовой доли аминокислот с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель» М 04-38-2009. По химическому составу – в АНО Центр биотической медицины по методу доктора Скального методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП), атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП). Оборудование: Квадрупольный масс-спектрометр Elan 9000 (Perkin Elmer, США), атомно-эмиссионный спектрометр Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США).

Результаты и обсуждение. Полученные результаты качества белка семян нута приведены в таблице.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика белкового и аминокислотного состава сортов нута
Table 1 – Comparative characteristics of the protein and amino acid composition of chickpea varieties

Аминокислотный состав, мг % / Amino acid composition, mg %	Сорта нута / Chickpea varieties		
	Волжанин 50 / Volzhanin 50	Приво 1 / Privo 1	Приво 11 / Privo 11
Массовая доля белка, % / Mass protein fraction, %	20,87	21,59	23,19
Аргинин / Arginine	719	1075	925
Лизин / Lysine	894	978	1025
Тирозин / Tyrosine	916	412	426
Фенилаланин / Phenylalanine	257	1328	922
Гистидин / Histidine	108	185	321
Лейцин + изолейцин / Leucine + isoleucine	1595	1919	1572
Метионин / Methionine	115	118	133
Валин / Valine	566	614	504
Пролин / Proline	443	619	649
Треонин / Threonine	280	418	449
Серин / Serine	430	384	732
Аланин / Alanine	443	476	634
Глицин / Glycine	578	697	610
Триптофан / Tryptophan	4026	4033	4045

Было установлено превосходство нута сорта Приво 11 по уровню массовой доли белка на 1,6 % по сравнению с Приво 1 и на 2,32 % с сортом Волжанин 50, что свидетельствует об улучшении кормовых качеств нута в результате проведенной селекции. В отношении полноценности аминокислотного состава установлено превосходство нута сорта последней селекции по ряду аминокислот, главным образом незаменимых. Так, по лизину преимущество составило 47 и 131 мг% в сравнении с нутом сортов Приво 1 и Волжанин 50, по метионину преимущество составило соответственно – 18 и 15 мг %. Также установлено, что нут последней селекции превосходил своих предшественников по гистидину – на 136 и 213 мг %, или почти в 2 раза; аланину – 158 и 191, серину – 348 и 302, пролину – 30 и 206, треонину – 31 и 169, и триптофану – на 12 и 19 мг%. Данное улучшение является существенным, если учесть, что аминокислоты: лизин, метионин, треонин, триптофан являются лимитирующими. Однако было выявлено и снижение содержания уровня некоторых аминокислот в нуте сорта последней селекции по сравнению с сортами Приво 11 и Волжанин 50: фенилаланина – на 400 и 1100 мг %, лейцина + изолейцина – на 347 и 324 мг % соответственно, аргинина – на 150 и 356 мг %, валина – 110 и 48 и глицина – на 87 и 119 мг %.

Но, в конечном счете, здесь имеет место снижение по аминокислотам, не относящимся к незаменимым. В итоге был сделан вывод о кормовом преимуществе нута нового поколения по количеству общего белка и качественному аминокислотному составу по сравнению с кормовой ценностью зерна нута предыдущих селекционных поколений.

Не меньший интерес для использования в рационах животных и птицы представляет микроэлементный состав кормов. Микроэлементы нужны для формирования костной ткани и поддержания ее прочности, водно-солевого баланса, регуляции обмена веществ, уровня гормонов. Лишь хорошо сбалансированный по микроэлементному составу рацион обеспечит наилучшее усвоение его питательных веществ, продуктивность и сохранность животных и птицы [15]. Кальций участвует в строительной, нервно-мышечной регуляции организма, нормализует тонус сосудов, обладает эндокринной и ферментной активностью, обеспечивает гомеостаз и поддержание репродуктивного здоровья. Играет основную роль в росте и минерализации костей птиц, репродуктивных качествах несушек. Он обеспечивает структурную прочность костей и яичной скорлупы, играет жизненно важную роль во многих биохимических реакциях [15, 16]. В комплексе с витамином D способствует ускорению расщепления клетчатки. Около 75-85 % фосфора находится в костях, зубах, он не синтезируется в тканях и должен регулярно поступать с кормом. Входя в структуру РНК и ДНК, отвечает за сохранение генома, участвует в метаболических процессах. Являясь ключевым компонентом АТФ, фосфор, отвечает за аккумуляцию энергии [15]. Селен является одним из незаменимых компонентов организма. Дефицит его в рационе приводит к нарушению микроциркуляции и повышению проницаемости капиллярных и клеточных мембран, который приводит к снижению функциональной активности важнейших гормонов, ферментов щитовидной железы, иммунитета, нарушаются функции перекисей липидов, развивается оксидантный стресс у животных [17, 18]. Нехватка селена вызывает дистрофию печени, энцефаломаляцию, экссудативный диатез. Железо также относится к незаменимым микроэлементам. Данный элемент ответственен за оксигенацию организма, резистентность, повышение уровня метаболизма [20].

Результаты исследования уровня микроэлементов сортов нута приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Микроэлементный состав сортов нута
Table 2 – Microelement composition of chickpea varieties

Элемент, мкг/г / Element, mcg/g	Сорт нута / Chickpea varieties		
	Волжанин 50 / Volzhanin 50	Приво 1 / Privo 1	Приво 11 / Privo 11
Al	0,20 ± 0,031	0,30 ± 0,301	0,22 ± 0,520
As	0,02 ± 0,005	0,03 ± 0,004	0,01 ± 0,0014
B	15,43 ± 1,850	14,49 ± 1,450	10,64 ± 1,06
Ca	828,00 ± 63,000	923,00 ± 92,00	965,00 ± 97,00
Cd	0,006 ± 0,0014	0,010 ± 0,002	0,003 ± 0,0007
Co	0,14 ± 0,021	0,14 ± 0,016	0,09 ± 0,013
Cr	0,39 ± 0,058	0,48 ± 0,058	0,08 ± 0,011
Cu	8,06 ± 0,970	6,12 ± 0,610	6,57 ± 0,66
Fe	36,92 ± 9,230	39,5 ± 7,900	51,63 ± 10,33
Hg	0,009 ± 0,0022	0,02 ± 0,002	< 0,00054
I	< 0,030	< 0,030	< 0,030
K	10450,00 ± 1568,00	12120,00 ± 1454,00	7954,00 ± 954,00
Li	0,04 ± 0,009	0,13 ± 0,015	0,16 ± 0,019
Mg	1246,00 ± 150,00	1589,00 ± 159,00	1229 ± 123,00
Mn	21,90 ± 2,630	33,09 ± 3,31	29,10 ± 2,91
Na	27,22 ± 3,27	52,49 ± 5,25	49,31 ± 4,93
Ni	2,59 ± 0,31	3,61 ± 0,36	3,56 ± 0,36
P	4137,00 ± 620,00	3725,00 ± 447,00	4235,00 ± 508,00
Pb	0,01 ± 0,002	0,02 ± 0,003	0,006 ± 0,0011
Se	0,8 ± 0,12	0,26 ± 0,11	0,92 ± 0,032
Si	1,29 ± 0,39	5,29 ± 1,32	12,94 ± 2,59
Sn	0,007 ± 0,0018	0,01 ± 0,002	0,001 ± 0,0003
Sr	5,83 ± 0,7	7,5 ± 0,75	8,00 ± 0,8
V	0,08 ± 0,016	0,11 ± 0,013	0,007 ± 0,0014
Zn	38,79 ± 4,66	30,91 ± 3,09	25,44 ± 2,54

Так, по сравнению с семенами предыдущих сортов: Приво 1 и Волжанин 50 нут сорта Приво 11 отличается большим количеством кальция на 95 и 137 мкг/г, фосфора – на 510 и 98, селена – на 0,66 и 0,12, железа – на 12,13 и 14,71 мкг/г. Также был отмечен незначительный рост уровня микроэлементов: алюминия, лития, кремния, стронция и др. Одновременно в нуте сорта Приво 11 по сравнению с семенами сортов Приво 1 и Волжанин 50 наблюдалось снижение содержания калия – на 4166 и 1670, магния – на 343,0 и 360,0 цинка – на 5,5 и 8,1 мкг/г. В новом сорте нута установлено незначительное снижение уровня мышьяка, бора, кадмия, кобальта, ванадия и других микроэлементов.

С учетом того обстоятельства, что микроэлементы кальций, фосфор, селен, железо относятся к незаменимым, следует отметить положительный результат селекционной работы, которая является наглядным примером эффективной технологии производства семян высших категорий с учётом местных почвенно-климатических условий, что соответствует положениям федеральных программ в сфере продовольственной безопасности. С целью создания устойчивой кормовой базы для животноводства, актуальным является формирование по итогам селекционной работы отечественной базы сортовых семян, районированных с учетом особенностей отдельно взятого региона и сохранения их чистосортности.

Заключение. 1. По итогам проведенной селекционной работы был достигнут рост массовой доли белка в нуте сорта Приво 11 на 1,6 % по сравнению с сортом Приво 1 и на 2,32 % с сортом Волжанин 50. По лизину преимущество составило – 47 и 131 мг% в сравнении с нутом сортов Приво 1 и Волжанин 50, по метионину соответственно 18 и 15 мг%. Также установлено, что нут последней селекции превосходил своих предшественников по гистидину – на 136 и 213 мг % или почти в 2 раза; аланину – 158 и 191, серину – 348 и 302, пролину – 30 и 206, треонину – 31 и 169, и триптофану – на 12 и 19 мг%. Данное улучшение является существенным, если учесть, что аминокислоты лизин, метионин, треонин, триптофан относятся к ряду критических.

2. По сравнению с семенами сортов Приво 1 и Волжанин 50 нут сорта Приво 11 отличался наибольшим количеством незаменимых макро- и микроэлементов: кальция – на 95 и 137 мкг/г, фосфора – на 510 и 98, селена – на 0,66 и 0,12, железа – на 12,13 и 14,71 мкг/г. Также был отмечен незначительный рост уровня алюминия, лития, кремния, стронция и др.

Conclusions. 1. As a result of the conducted selection work, an increase in the mass fraction of protein by 1.6 % was achieved in comparison with Privo 1 and by 2.32 % with the Volzhanin 50 variety. In terms of lysine, the advantage was 47 and 131 mg % in comparison with the chickpeas of the Privo 1 and Volzhanin 50 varieties, in terms of methionine, 18 and 15 mg %, respectively. It was also established that the chickpeas of the latest selection surpassed their predecessors in histidine by 136 and 213 mg %, or almost 2 times; alanine 158 and 191, serine 348 and 302, proline 30 and 206, threonine 31 and 169, and tryptophan – by 12 and 19 mg %. This improvement is significant if we take into account that the amino acids lysine, methionine, threonine, and tryptophan are among the critical ones.

2. Compared with the seeds of the Privo 1 and Volzhanin 50 varieties, the Privo 11 variety chickpeas had the highest amount of essential macro- and microelements: calcium by 95 and 137 μg/g, phosphorus by 510 and 98, selenium by 0.66 and 0.12, iron by 12.13 and 14.71 μg/g. A slight increase in the level of aluminum, lithium, silicon, strontium, etc. was also noted.

Библиографический список

1. Криничная Е. П. Современное состояние отрасли селекции и семеноводства в России: ключевые проблемы и направления их решения. Мелиорация и гидротехника. 2021. № 4.

2. Полухин А. А., Гусева А. Н., Цуканова З. Р., Бош Е. С., Мерцалов Е. Н., Гусев А. С. К 100-летию системы семеноводства в России. Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 2 (38).

3. Фисинин В. И., Егоров И. А., Ленкова Т. Н. Использование нетрадиционных кормов в рационе птицы. Птица и птицепродукты. 2016. № 4.

4. Николаев С. И., Карапетян А. К., Корнилова Е. В., Струк. М. В. Эффективность использования нута в кормлении кур. Научный журнал. Кубанский государственный аграрный университет. 2015. № 107.

5. Балашов В. В., Балашов А. В., Малахова А. А., Балашов В. А. Особенности роста и развития сортов нута волгоградской селекции на каштановых почвах Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2021. № 1 (61).

6. Балашов А. В., Балашов В. В., Малахова А. А., Мартынов Д. А. Волжанин 50 – новый перспективный сорт нута. Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2 (54). С. 1-7.

7. Хорошевская Л., Хорошевский А. Эффективность использования нута в рационах птицы. Комбикорма. 2012. № 4. С. 61-62.

8. Омаров М. О., Слесарева О. А. Влияние оптимизации рационов по незаменимым аминокислотам для свиней. Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2013. № 1. Т. 2. С. 107-115.

9. Подобед Л. И. Протеиновое и аминокислотное питание сельскохозяйственной птицы: структура, источники, оптимизация. Днепропетровск, 2010. 240 с.

10. Штеле А. Л. О проблеме дефицита протеина в кормлении высокопродуктивной птицы. Птицеводство. 2016. № 1. С. 38-46.

11. Вертипрахов В. Г., Шеломенцева О. П. Влияние дефицитных аминокислот на прирост массы поросят. Инновационные технологии в технике и образовании: VI Международная научно-практическая конференция. Забайкальский государственный университет, 2015. С. 90-93.

12. Беззубов В. И., Ходосовский Д. Н, Хоченков А. А., Соколова С. Н., Перешвили И. Н., Петрушенко А. С. Влияние аминокислотного состава комбикорма на показатели естественной резистентности ремонтных свинок. Зоотехническая наука Беларуси. 2003. Т. 38. С. 128-134.

13. Луговой М. М., Подобед Л. И. Сравнительный анализ аминокислотного состава некоторых кормов и добавок. БИО. 2018. № 12. С. 20-23.

14. Поморова Ю. Ю., Пятовский В. В., Серова Ю. М., Болховитина Ю. С. Сравнительный анализ аминокислотного состава белка семян подсолнечника селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. Масличные культуры. 2020. Выпуск 1. С. 31-37.

15. Косолапов В. М., Чуйков В. А., Худякова Х. К., Косолапова В. Г. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография. Москва: ООО «Угрешская типография», 2019. 272 с.

16. Казаев К. А., Холодилина Т. Н., Сизова Е. А., Лебедев С. В., Сальникова Е. В. Кальций: физиологическая роль, источники и нормирование в промышленном птицеводстве (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2024. № 2.

17. Севостьянова О. И., Шахова В. Н., Киреев И. В., Калуга М. А. Перспективы применения селена в птицеводстве. Ветеринария Кубани. 2024. № 1.

18. Чабаев М. Г., Клементьев М. И., Коптева Ю. С. Влияние различных соединений и уровней селена при выращивании ремонтного молодняка свиней. Известия НВ АУК. 2025. № 4 (82). С. 331-337.

19. Завьялов О. А. Влияние селенсодержащих добавок на метаболизм селена, продуктивные качества и микробиом кишечника у сельскохозяйственных животных (обзор). Аграрный научный журнал. 2023. № 12.

20. Газеев А. Р., Тамимдаров Б. Ф., Гатауллина Л. Р., Усольцева И. И., Гасанов А. С., Алиев М. Ш. Применение микроэлементов селена и железа в птицеводстве. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2012. Вып. 2. Т. 210.

References

1. Krinichnaya E. P. Current state of the breeding and seed production industry in Russia: key problems and directions for their solution. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2021. No. 4.

2. Polukhin A. A., Guseva A. N., Tsukanova Z. R., Bosh E. S., Mertsalov E. N., Gusev A. S. On the 100th anniversary of the seed production system in Russia. Grain legumes and cereal crops. 2021. No. 2 (38).

3. Fisinin V. I., Egorov I. A., Lenkova T. N. Use of non-traditional feeds in the poultry diet. Poultry and poultry products. 2016. No. 4.

4. Nikolaev S. I., Karapetyan A. K., Kornilova E. V., Struk. M. V. Efficiency of using chickpeas in feeding chickens. Scientific journal. Kuban State Agrarian University. 2015. No. 107.

5. Balashov V. V., Balashov A. V., Malakhova A. A., Balashov V. A. Features of growth and development of chickpea varieties of Volgograd selection on chestnut soils of the Volgograd region. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No. 1 (61).

6. Balashov A. V., Balashov V. V., Malakhova A. A., Martynov D. A. Volzhanin 50 - the new promising chickpea variety. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No. 2 (54). Pp. 1-7.

7. Khoroshevskaya L., Khoroshevsky A. Efficiency of using chickpeas in poultry diets. Mixed fodder. 2012. No. 4. Pp. 61-62

8. Omarov M. O., Slesareva O. A. Influence of optimization of diets for essential amino acids for pigs. Collection of scientific papers of the North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry. 2013. No. 1. V. 2. Pp. 107-115.

9. Podobed L. I. Protein and amino acid nutrition of agricultural poultry: structure, sources, optimization. Dnepropetrovsk, 2010. 240 p.

10. Shtele A. L. On the Problem of Protein Deficiency in Feeding Highly Productive Poultry. Poultry Farming. 2016. No. 1. Pp. 38-46.

11. Vertiprakhov V. G., Shelomentseva O. P. The Effect of Deficient Amino Acids on Piglet Weight Gain. Innovative Technologies in Engineering and Education. VI International Scientific and Practical Conference. Transbaikal State University, 2015. Pp. 90-93.

12. Bezzubov V. I., Khodosovsky D. N., Khochenkov A. A., Sokolova S. N., Pereshvili I. N., Petrushchenko A. S. The influence of the amino acid composition of compound feed on the indicators of natural resistance of gilts. Zootechnical science of Belarus. 2003. Vol. 38. Pp. 128-134.

13. Lugovoy M. M., Podobed L. I. Comparative analysis of the amino acid composition of some feeds and additives. BIO. 2018. No. 12. Pp. 20-23.

14. Pomorova Yu. Yu., Pyatovsky V. V., Serova Yu. M., Bolkhovitina Yu. S. Comparative analysis of the amino acid composition of sunflower seed protein bred at the All-Russian Research Institute of Oilseed Fertilizers. Oilseed crops. 2020. Issue 1. Pp. 31-37.

15. Kosolapov V. M., Chuikov V. A., Khudyakova H. K., Kosolapova V. G. Mineral elements in feed and methods of their analysis: monograph. Moscow: Ugreshskaya Tipografiya LLC, 2019. 272 p.

16. Kazaev K. A., Kholodilina T. N., Sizova E. A., Lebedev S. V., Salnikova E. V. Calcium: physiological role, sources and standardization in industrial poultry farming (review). Agricultural biology. 2024. No. 2.

17. Sevostyanova O. I., Shakhova V. N., Kireev I. V., Kaluga M. A. Prospects for the use of selenium in poultry farming. Veterinary Science of Kuban. 2024. No. 1.

18. Chabaev M. G., Klementyev M. I., Kopteva Yu. S. The influence of various compounds and levels of selenium on the growth of replacement pigs. Proceedings of the NV AUC. 2025. No 4 (82). Pp. 331-337.

19. Zavyalov O. A. The influence of selenium-containing supplements on selenium metabolism, productive qualities and intestinal microbiome in farm animals (review). Agrarian scientific journal. 2023. No. 12.

20. Gazeev A. R., Tamimdarov B. F., Gataullina L. R., Usoltseva I. I., Gasanov A. S., Aliev M. Sh. The use of selenium and iron microelements in poultry farming. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2012. V. 210. Issue 2.

Информация об авторах

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Калинина Наталья Васильевна, кандидат биологических наук, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Балашов Андрей Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, Прикаспийский аграрный ФНЦ РАН, (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8) e-mail: balashov34@yandex.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. имени Маршала Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Kalinina Natalya Vasilievna, Candidate of Biological Sciences, Research Laboratory Assistant, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), 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, Scientific Supervisor, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Balashov Andrey Vasilyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, village of Saline Zaymishche, Severny quarter, 8), e-mail: balashov34@yandex.ru

Mosolova Natalya Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-05

THE MONITORING SOIL MOISTURE AND SOIL FERTILITY MULTISENSORY SYSTEM APPLICATION

[1]Akhmedov A. D., [2]Isayev M. M., [2]Khalilov Kh. Kh., [3]Kasimov K. R.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[1]Azerbaijan University of Architecture and Construction; Institute of Mathematics
Baku, Azerbaijan Republic
[2]Azerbaijan Technological University
Baku, Azerbaijan Republic

Corresponding author E-mail: askar-5@mail.ru

Received 29.03.2026 Submitted 13.05.2026

Summary

In modern conditions, water management in the soil root zone must be analyzed and optimized, taking into account various soil moisture factors. Therefore, this article presents a review and development of a multisensory monitoring system for soil fertility and moisture studies, combining wireless (LoRa/Wi-Fi) and wired components for monitoring key parameters.

Abstract

Introduction. This article presents a review and development of a multisensory monitoring system for soil moisture studies. It combines wireless (LoRa/Wi-Fi) and wired components to monitor key parameters: water capacity, temperature, pH, electrical conductivity, macronutrient content (N, P, K), and organic matter. The article proposes the architecture, data collection and preprocessing methods, and calibration and interpolation algorithms for spatial-temporal fields of soil fertility and moisture. The practical sensor placement scheme and data transmission module are presented. Recommendations for conducting field experiments and integrating the system into agricultural business processes are provided. **Object.** The object of this study is a multi-sensor system for studying soil fertility and moisture. **Materials and methods.** The proposed system for determining soil moisture and fertility consists of three key functional units: moisture sensors (FieldNodes) with LoRa/Wi-Fi, local concentrators (Gateways), and a cloud server with analytics. The sensors are primarily used to measure moisture, temperature, pH, electrical conductivity, and NPK mod-

ules. Additionally, the design of the sensor network architecture and data transmission interfaces includes selecting system components, network topology, polling frequency and packets, security, calibration, configuration management, and other elements. **Results and conclusions.** With modern technologies, irrigation efficiency directly depends on accurate soil moisture monitoring data. Therefore, a conceptual design for a hardware and software system for "Smart Irrigation" of agricultural crops is proposed. This intelligent system, by analyzing data from various sensors and managing irrigation, minimizes wasteful water use without harming plants, ensuring efficient and resource-saving irrigation management. Using data obtained from soil moisture sensors on soil characteristics, weather conditions, crop moisture requirements, and irrigation parameters, it is possible to optimize the water balance and create an optimal irrigation schedule. This approach, above all, contributes to increased crop yields and significantly reduces the need for water, electricity, and fertilizers, which, in turn, increases profits and profitability.

Keywords: *soil moisture, soil fertility, multisensory systems, LoRaWAN, wireless sensor networks, analytical sensors.*

Citation. Akhmedov A. D., Isaev M. M., Khalilov H. H., Kasimov K. R. The monitoring soil moisture and soil fertility multisensory system application. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 51-62 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-05.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 631.4:631.347

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВЛАЖНОСТИ И ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

[1]Ахмедов А. Д., *доктор технических наук, профессор*
[2]Исаев М. М., *доктор технических наук, профессор*
[2]Халилов Х. Х., *аспирант*
[3]Касымов К. Р., *аспирант*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]Азербайджанский университет архитектуры и строительства; Институт Математики
г. Баку, Азербайджанская Республика
[3]Азербайджанский технологический университет
г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. В современных условиях регулирование водных ресурсов в корнеобитаемой зоне почвы необходимо анализировать и оптимизировать, учитывая различные факторы влажности. В связи с этим в данной статье представлен обзор разработки мультисенсорной системы мониторинга для исследования плодородия и влажности почв, сочетающей беспроводные (LoRa / Wi-Fi) и проводные компоненты для мониторинга ключевых параметров. **Актуальность.** В статье представлены обзор и разработка мультисенсорной системы мониторинга для исследования влажности почв, сочетающей беспроводные (LoRa/Wi-Fi) и проводные компоненты для мониторинга ключевых параметров: влагоёмкости, температуры, pH, электрической проводимости, содержания макроэлементов (N, P, K) и органического вещества. Предложены архитектура, методы сбора и предобработки данных, алгоритмы калибровки и интерполяции пространственно-временных полей плодородия и влажности почвы. Показаны практическая схема размещения сенсоров и модуль передачи данных. Приведены рекомендации по проведению полевых экспериментов и интеграции системы в сельскохозяйственный бизнес-процесс. **Объект.** Объектом исследования является мультисенсорная система для исследования плодородия и влажности почв. **Материалы и методы.** Предлагаемая система для определения влажности и плодородия почв состоит из трех ключевых функциональных блоков: датчиков влажности (FieldNodes) с LoRa/Wi-Fi, локальных концентраторов (Gateways) и облачный сервер с аналитикой. Датчики в основном применяются для измерения влажности, температуры, pH, электропроводности и NPK-модулей. Кроме того, для проектирования архитектуры сенсорной сети и интерфейсов передачи данных подбираются компоненты системы, топология сети, частота опроса, форматы пакетов, параметры безопасности, калибровка и управление конфигурацией, а также другие элементы. **Результаты и выводы.** При использовании современных технологий эффективность орошения непосредственно зависит от точности полученных данных мониторинга влажности почвы. В связи с этим предлагается концептуальная схема аппаратно-программного комплекса «умного полива» сельскохозяйственных культур. Эта интеллектуальная система, анализируя данные с различных датчиков и управляя поливом, позволяет минимизировать нерациональное использование воды без ущерба для растений, обеспечивая эффективное и ресурсосберегающее управление. Используя

полученные с помощью датчиков данные о характеристиках почвы, погодных условиях, потребностях во влаге возделываемых культур и параметрах ирригации, можно оптимизировать водный баланс и составить оптимальный график полива. Такой подход прежде всего способствует повышению урожайности и значительному сокращению потребности в воде, электроэнергии и удобрениях, что, в свою очередь, увеличивает прибыль и рентабельность хозяйства.

Ключевые слова: *влажность почвы, почвенное плодородие, мультисенсорные системы, LoRaWAN, беспроводные сенсорные сети, аналитические датчики.*

Цитирование. Ахмедов А. Д., Исаев М. М., Халилов Х. Х., Касымов К. Р. Применение мультисенсорной системы для мониторинга влажности и плодородия почв. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 51-62. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-05.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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 актуальность мониторинга плодородия и влажности почвы обосновывается, прежде всего, необходимостью оптимизации применения различных доз удобрений, повышения продуктивности аграрного сектора и обеспечения экологической безопасности. В связи с этим современные подходы, интегрирующие разнообразные сенсорные системы и беспроводные сети для сбора данных, позволяют в режиме реального времени формировать высокоточные, детализированные пространственно-временные карты и принимать научно обоснованные управленческие решения. Следовательно, для развертывания удаленных сенсорных узлов предлагается гибридная архитектура, объединяющая технологию LoRaWAN с проводными датчиками в зонах, требующих максимальной точности измерений [9, 13, 14].

В современном мире, в условиях ограниченности природных ресурсов, а также высокого спроса на продовольствие, развитие аграрного сектора продиктовано в основном необходимостью повышения его устойчивости и конкурентоспособности. Поэтому современный аграрный сектор нуждается в инновационных подходах, основанных на разработке и внедрении современных методов и средств (автоматизированных систем контроля) для повышения производительности труда [3, 4].

Принимая во внимание разнообразное географическое положение, а также большие площади основных сельскохозяйственных районов, становится сложно контролировать и проводить необходимые работы, связанные с плодородием почвы и агрохимическими процессами. Учитывая данные проблемы, с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных угодий необходимо применять современные технологии и инновационные методы (интеллектуальные информационно-измерительные и управляющие системы) для мониторинга пахотных земель [2, 5-7].

При проведении исследований особое внимание уделяется расширенному мониторингу, который позволяет:

- оперативно и точно контролировать показатели посевных площадей;
- эффективно собирать и обрабатывать полезную информацию;
- принимать обоснованные управленческие решения.

Материалы и методы. Анализ различных литературных исследований в области беспроводных сенсорных сетей (WSN) и Интернета вещей (IoT) показывает преимущества применения этих технологий в точном земледелии, а также подчеркивает быстрый темп развития исследований, связанных с данной энергоэффективной и масштабируемой технологией [9, 11]. При этом для мониторинга влажности почвы и управления орошением с научной точки зрения более эффективным является применение гибридной архитектуры LoRaWAN [10, 12]. С использованием ионселективных массивов и импедиметрических подходов активно развиваются интегрированные мультисенсорные решения, способные определять концентрации N, P, K непосредственно на месте проведения исследований [8, 93]. Важно отметить, что в соответствии с национальными стандартами современные системы отбора проб и методы анализа требуют тщательной калибровки и валидации.

Целью исследования является непрерывный сбор пространственно-временных данных по основным показателям мониторинга плодородия и влажности почв на основе разработки и верификации возможности раздельной работы беспроводных дистанционных узлов и высокоточных проводных мультисенсорных систем, обеспечивающих формирование карт-предписаний для точного внесения удобрений.

Для достижения поставленной цели будут решаться следующие задачи:

Спроектировать архитектуру сенсорной сети и интерфейсы передачи данных.

Цели архитектуры:

- надёжный сбор пространственно-временных данных;
- поддержка удалённых (LoRaWAN) и локальных (Wi-Fi / проводных) узлов;
- энергоэффективность и автономность узлов;
- масштабируемость и простая интеграция с облачной аналитикой;
- защита данных и отказоустойчивость.

Компоненты системы (обозначения):

- SN – Sensor Node (датчик-узел);
- GW – Gateway / LoRaWAN-шлюз / Raspberry Pi;
- CN – Concentrator (локальный концентратор, Raspberry Pi / edge-сервер);
- Cloud – облачный сервер с БД и аналитикой;
- UI – веб/мобильный интерфейс.

Топология сети:

1. Краевые узлы (SN): физические сенсоры в грунте или на поверхности. Поддерживают LoRa (пакеты малой частоты), опционально Wi-Fi/RS-485 для локальной сети.

2. Локальные концентраторы (CN): собирают данные от SN по LoRa или проводным интерфейсам. Могут выполнять предобработку, кеширование и ретрансляцию через Ethernet/4G/Wi-Fi.

3. Шлюзы (GW): LoRaWAN-шлюзы направляют пакеты в сеть (localNetworkServer) или напрямую в облако, обеспечивают связь между устройствами (CN/Cloud) и сетью.

4. Облако: центральный узел системы, отвечает за прием, хранение, анализ данных и выдачу команд.

5. Пользовательский интерфейс (UI) подключается к облаку по защищенному соединению HTTPS.

Режимы связи и выбор протоколов:

- LoRa/LoRaWAN – для удалённых сенсорных узлов (SN) с низким энергопотреблением и ограниченной пропускной способностью, поддерживая дальность связи до нескольких километров.

- Wi-Fi – применяется в зонах с развитой инфраструктурой и доступной электроэнергией, где требуется передача больших пакетов (прошивки, бинарные данные).

- RS-485 / UART / I2C / SPI – для проводных высокоточных датчиков и локальных концентраторов.

- MQTT over TLS – основной протокол между CN/GW и Cloud для телеметрии (низкая задержка, легковесность).

- HTTPS / REST API (JSON) – для UI, внешних интеграций и управления.

- CoAP (опционально) – для энергоограниченных узлов, если требуется UDP-поведение.

Частота опроса и пакеты:

- Базовый режим: телеметрия каждые 15-60 мин. (влагоёмкость, температура, EC).

- Событийный режим: мгновенная отправка при критических изменениях параметров (например, резкое снижение влажности почвы или pH).

- Обновление прошивки: осуществляется в основном через Wi-Fi или с использованием сжатых бинарных пакетов локальным сетевым концентратором (CN).

- Агрегация данных: сенсорные узлы (SN) при необходимости перед отправкой одного пакета могут усреднять несколько измерений (N) для экономии заряда батареи.

Предобработка данных на узле:

– Фильтрация выбросов: с применением межквартильного размаха можно удалить аномальные значения.

– Компрессия и агрегация: последующая пакетизация данных с использованием алгоритма delta-encoding.

– Локальная калибровка: применение актуальных калибровочных коэффициентов, хранящихся непосредственно на узле.

Интерфейсы и API:

1. MQTT Broker (Cloud):

– Topic: farm/<site_id>/node/<node_id>/telemetry – публикация от SN/CN.

– QoS 1: рекомендуется для надёжности.

– Аутентификация: устройства используются по токену/ключу + TLS.

2. REST API (Cloud):

– POST /api/v1 – приём телеметрии (JSON).

– GET /api/v1/nodes/{node_id} – используется для получения метаданных узла.

– PUT /api/v1/nodes/{node_id}/config – применяется для обновления конфигурации.

– POST /api/v1/firmware/{node_id} – проводится через Wi-Fi/CN инициатором OTA-обновления.

3. DeviceManagement:

– Device registry: UUID, pubkey, FW version, last_seen.

– Config schema: { sampling_interval, tx_power, report_conditions, calibration_coeffs }.

Формат хранения (рекомендуемая схема БД):

– TimeseriesDB (InfluxDB / TimescaleDB) для измерение: показатели почвы: телеметрии; теги: идентификатор узла, идентификатор участка, тип датчика; поля: единица измерения, значение, статус; временная метка.

– RelationalDB (Postgres) для метаданных: записи калибровки, инвентарь, узлы, шлюзы, эксперименты.

– ObjectStorage для бинарных данных/логов/прошивок (S3-совместимое).

Безопасность:

– TLS (MQTT over TLS, HTTPS).

– Уникальные devicetokens/ключи для каждой SN.

– Подпись сообщений (HMAC) для критичных данных – опция.

– Ротация ключей и возможность удаления/деактивации узлов.

– Логи доступа и мониторинг аномалий.

Энергетика и жизненный цикл:

– Режим сна: MCU deep sleep; wake by RTC или интервал.

– Энергосбережение: пакетная отправка, adaptive duty cycling (увеличение интервала при стабильных условиях).

– Питание: солнечная панель + LiFePO4 АКБ; предиктивное планирование передачи при низком аккумуляторе.

– Ожидаемый срок автономии: месяцы при правильно подобранной конфигурации.

Калибровка и управление конфигурацией:

– Формат калибровки в JSON (передаётся по MQTT/REST).

– CN может хранить несколько версий калибровок и применять их локально.

– Автоматическая отправка оповещений при отклонении от лабораторных значений.

Надёжность и отказоустойчивость:

– Повторные передачи (MQTT QoS1) и ACK.

– Локальная буферизация при отсутствии связи.

– Дублирование шлюзов: 2 GW на участок для резервирования.

Подобрать и интегрировать мультипараметрические датчики (влага, pH, EC, температура, NPK).

Вариант выбора и интеграции спецификации датчиков дан в таблице 1.

Таблица 1 – Примерные спецификации датчиков
Table 1 – Sample sensor Specifications

Тип датчика / Sensor type	Модель / производитель / Model / Manufacturer	Диапазон измерений / Measurement range	Точность (приблизительно) / Accuracy (approximately)
Датчик влажности почвы (VWC) / Soil moisture sensor (VWC)	Vegetronix VH400	0-100 % VWC	± 2 % (при 25 °C) – производитель / ± 2 % (at 25 °C) – manufacturer
Датчик влажности /EC/температура / Humidity/EC/temperature sensor	METER (Decagon) 5TE / EC-5	VWC, EC, Temp	VWC разрешение ~0.07 % (производитель/продавец) / VWC resolution ~0.07 % (manufacturer/seller)
Температура и относительная влажность / Temperature and relative humidity	Sensirion SHT31	Temp: -40-125 °C; RH: 0-100 %	Temp ±0.3 °C; RH ±2 % (typ).
pH (полевой / лабораторный) / pH (field/laboratory)	Atlas Scientific pH Probe / EZO-pH	pH 0-14 (в зависимости от зонда) / (depending on the probe)	Погрешность зависит от зонда; EZO – pH обеспечивает стабильность и 0.01-0.1 pH / The error depends on the probe; EZO – pH provides stability and 0.01-0.1 pH
Электропроводность (EC) / Electrical conductivity (EC)	Atlas Scientific EZO-EC + зонд	0.07 – > 500 000 µS/cm	± 2 % (указано для EZO-EC) / ±2 % (specified for EZO-EC)
Ионселективный электрод (нитрат/аммоний) / Ion-selective electrode (nitrate/ammonium)	YSI / Hanna ISE	Зависит от иона; mg/L или ppm / Depends on the ion; mg/L or ppm	Лабораторная точность, зависит от электрода / Laboratory accuracy, depending on the electrode

Примечание: стоимость датчиков и их характеристики зависят от комплектации, объёма закупки и поставщика.
Note: The cost of sensors and their specifications depend on the configuration, purchase volume, and supplier.

Методика и архитектура системы. Предлагаемая система состоит из трех ключевых функциональных блоков: датчики влажности (FieldNodes) с LoRa/Wi-Fi, локальные концентраторы (Gateways) и облачный сервер с аналитикой. При этом датчики в основном применяются для измерения влажности, температуры, pH, электропроводности и NPK [8, 9].

Необходимо отметить, что выбор протокола LoRaWAN прежде всего обусловлен его низким энергопотреблением и широким радиусом действия. Кроме того, его использование критически важно для удаленно расположенных узлов. Следует отметить, что в зонах с высокой плотностью узлов для передачи или обновлений прошивки больших объемов данных применяется Wi-Fi.

В системе энергоснабжение узлов поддерживается с помощью солнечной панели и аккумулятора. Для максимальной автономности имеются режимы сна и интеллектуальное планирование отправки данных. Данные собираются, агрегируются и передаются по LoRa [10, 12].

В полевых условиях проводится ежесезонная калибровка NPK-модулей и pH по ГОСТ. Для обработки данных и визуализации применяются методы удаления аномалий, сглаживания и коррекции. Для формирования карт плодородия пространственная интерполяция осуществляется методами взвешенного обратного расстояния (IDW) и кригинга. При этом выбор конкретного метода интерполяции зависит от плотности размещения узлов и наличия выраженных трендов в данных. Для прогнозирования оптимального времени полива и потребности в удобрениях используются простые модели, основанные на регрессии и градиентом бустинге [8, 13].

Результаты и их обсуждение. Необходимо отметить, что в полевых условиях для проведения исследований применяется участок площадью не менее 2-5 га. В данной ситуации размещение узлов системы в сетке должно быть с шагом 25х25 м. Следует отметить, что в таких случаях эффективность системы будет оцениваться преимущественно по точ-

ности измерений, надежности передачи данных и автономности узлов. Такой подход предполагает создание интегрированной системы, способной с заданным пространственным разрешением генерировать карты для применения в полевых условиях дифференцированного внесения удобрений. Это позволит прежде всего оптимизировать затраты труда и улучшить экологическое состояние почв [11, 14].

В ходе выполнения работ для удаленных распределенных точек в будущем можно использовать технологию LoRa, а гибкость системы при этом будет обеспечиваться за счет комбинирования беспроводных и проводных решений. Исходя из этого, следует отметить, что для локальных калибровочных точек в будущем можно применять технологии, связанные с проводными высокоточными зондовыми системами. Следовательно, ключевые вызовы, связанные с внедрением системы, в основном касаются стабильности и долговечности различных датчиков, минимизации влияния внешних факторов и состава почвы на точность показаний сенсоров. Кроме того, это также защищает данные и масштабируемость системы в целом [15].

При проведении полевых исследований для измерения влажности и температуры почвы в основном используют заглубленные полевые датчики. Для этих задач в России широко используются такие датчики, как «Стриж», «Eijkelkamp», «Z100», «SM150N» и «Thetaprobe». При этом полученные данные с полевых датчиков передаются через базовую станцию на центральную платформу для дальнейшей обработки и анализа (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема передачи данных мониторинга почв с использованием полевых датчиков
Figure 1 – Schematic diagram of soil monitoring data transmission using field sensors

Необходимо отметить, что радиус действия базовой станции максимально достигает 1 км, обеспечивая площадь покрытия 100-150 га в зависимости от рельефа местности. Каждая базовая станция способна обслуживать16 единиц беспроводных сенсорных узлов. При этом площадь охвата каждого сенсорного узла составляет примерно 6-9 га. По результатам мониторинга и последующей обработки собранных данных формируется подробная карта с указанием рекомендованных для внесения дифференцированных доз удобрений (рисунок 2).

В системе точного земледелия данную карту предписаний можно использовать для управления работой машин.

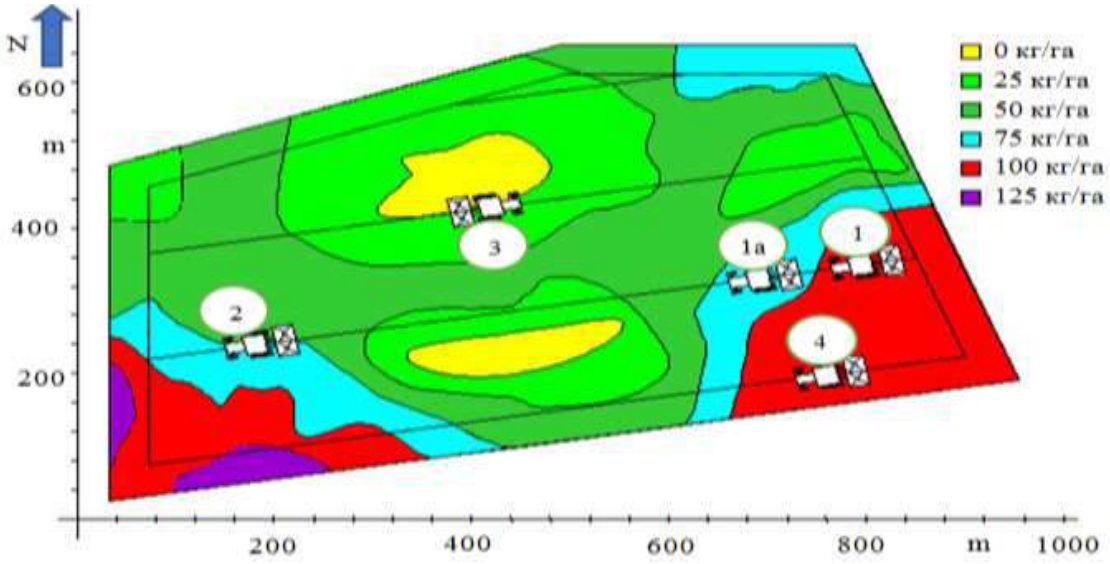


Рисунок 2 – Карта дифференцированного внесения удобрений
Figure 2 – Map of differentiated fertilizer application

В сельском хозяйстве орошение играет ключевую роль в компенсации дефицита влаги и обеспечении стабильных урожаев. В связи с этим эффективность орошения непосредственно зависит от точности данных мониторинга влажности почвы. Используя полученные с помощью датчиков данные о характеристиках почвы, погодных условиях, потребностях во влаге возделываемых культур и параметрах ирригации, можно оптимизировать водный баланс и составить оптимальный график полива. Такой подход, прежде всего, способствует повышению урожайности, значительному сокращению потребности в воде, электроэнергии и удобрениях, что, в свою очередь, увеличивает прибыль и рентабельность хозяйства [2, 6-7]. Кроме того, для автоматизации сбора данных и прогнозирования оптимального графика полива в реальном времени предлагается использовать нейронные сети, включающие в себя этапы, представленные по часовой стрелке на рисунке 3.

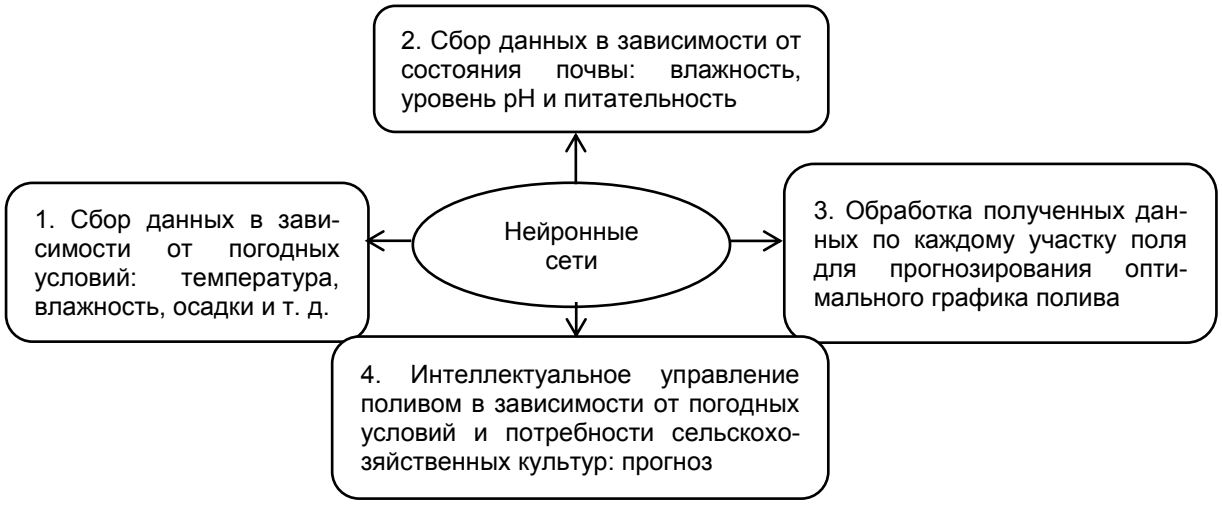


Рисунок 3 – Основные этапы использования нейронной сети
для автоматизации данных и прогнозирования оптимального графика полива
Figure 3 – Key steps in using a neural network to automate data and predict the optimal irrigation schedule

Такая система при возделывании сельскохозяйственных культур обеспечивает в основном оптимизацию расхода оросительной воды, повышение качества урожая и снижение производственных затрат в условиях орошения.

В рамках исследований для иллюстрации ключевых сценариев были разработаны блок-схемы, которые представлены на рисунке 4 и описывают последовательности выполнения работы, такие как управление поливом, а также функционирование программно-аппаратной системы. Данная блок-схема, прежде всего, демонстрирует просмотр и настройку основных параметров полива, включая частоту измерений датчика и пороговые значения влажности.

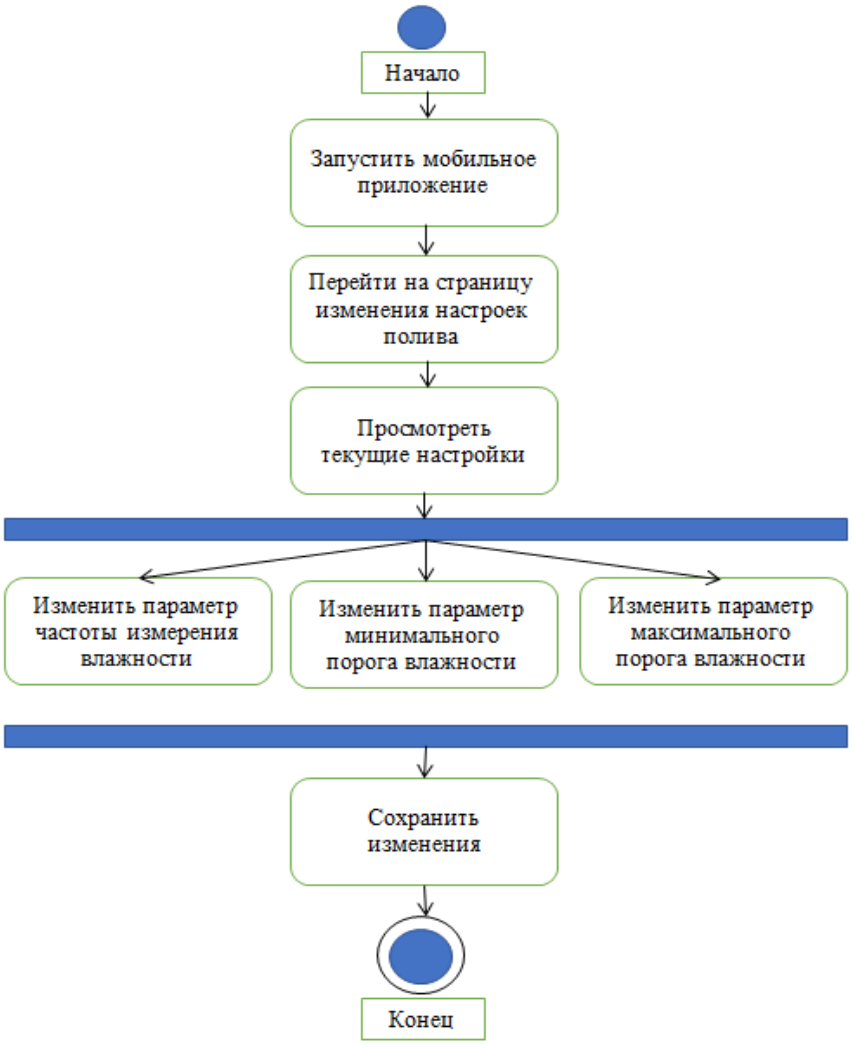


Рисунок 4 – Блок-схема настройки основных параметров системы интеллектуального полива
Figure 4 – Flowchart for setting up the main parameters of the smart irrigation system

В настоящее время современное сельское хозяйство для совершенствования сельскохозяйственного производства требует внедрения передовых технологий с применением цифровых интеллектуальных систем управления. В полевых условиях такая система обеспечивает в режиме реального времени повышение качества полива на протяжении всего вегетационного периода сельскохозяйственных культур. Для оптимизации производственных процессов данная система обеспечивает высокоточное внесение удобрений, а также своевременное опрыскивание и опыление культур.

Для оптимизации возделывания различных сельскохозяйственных культур необходимо внедрение новых технологий, основанных на цифровых интеллектуальных системах управления. Такие системы позволяют, прежде всего, оптимизировать полив, адаптируя режимы полива в реальном времени в зависимости от влажности почвы, регулировать норму подачи воды, а также обеспечить точное внесение удобрений, опрыскивание и опыление. Такой подход значительно повышает общую эффективность производства [1, 16].

На основе вышеизложенных предпосылок нами разработана концептуальная схема аппаратно-программного комплекса «умного полива» сельскохозяйственных культур. Эта интеллектуальная система управления поливом позволяет минимизировать нерациональное использование воды без ущерба для растений.

Принцип работы структурной схемы автоматизации полива с применением технологии «Интернета вещей» приведен на рисунке 5.

При этом датчики измеряют влажность почвы. Далее сигнал от датчика передается микроконтроллеру, который его обрабатывает и отправляет на сервер по сети через Wi-Fi или LoRa и в облако. На сервере эти данные анализируются и визуализируются. При необходимости система автоматически активирует команду на открытие клапана для подачи воды в системе полива.

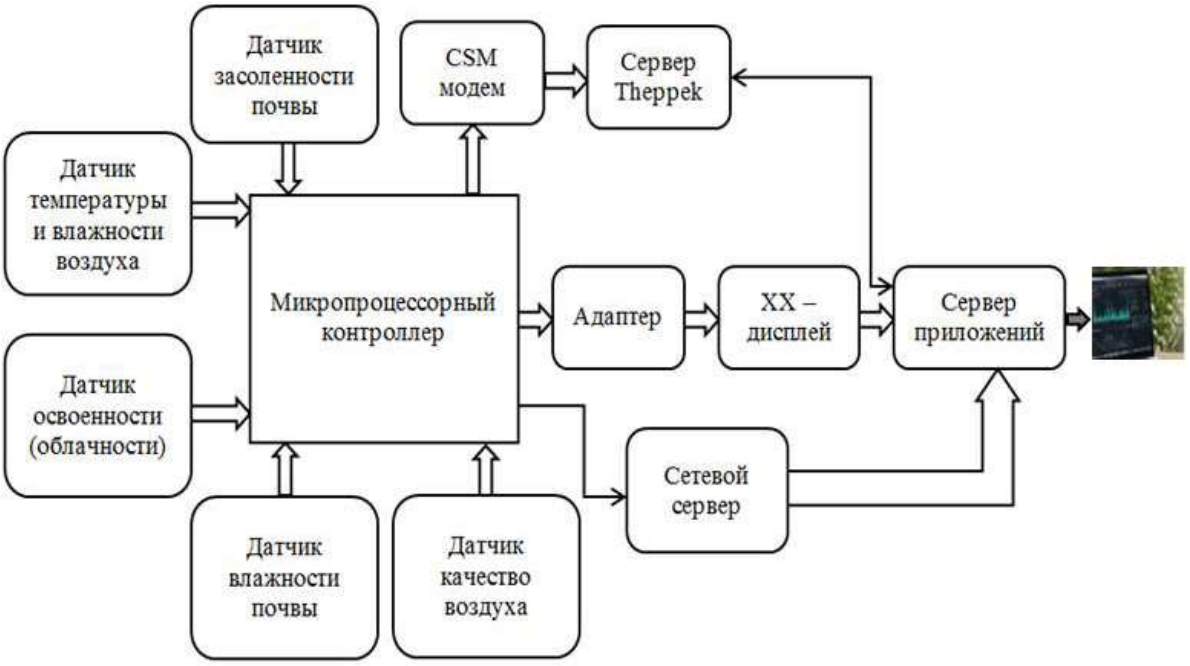


Рисунок 5 – Структурная схема автоматизации управления поливом
с применением технологии «Интернета вещей»
Figure 5 – Structural diagram of automated irrigation control using the Internet of Things technology

При создании структурной схемы автоматизации управления поливом с использованием технологии «Интернета вещей» (IoT) прежде всего требуется комплексный подход, где каждый компонент играет свою уникальную роль. В данном контексте центральным управляющим узлом является сервер Theppek. Он, собирая, обрабатывая и анализируя данные с датчиков выступает «мозгом» всей системы, а также принимает решения для оптимального управления поливом. Кроме того, данный сервер, включая адаптеры, дисплеи и пользовательские интерфейсы, обеспечивает связь между всеми элементами системы, гарантируя их слаженное функционирование. При этом адаптер играет роль посредника между датчиками и сервером, преобразуя сигналы и снижая нагрузку, что повышает скорость реакции системы.

В свою очередь, XX-дисплей взаимодействует с пользователем, а также служит для визуализации информации о поливе и влажности почвы.

В целом, интеллектуальная система, созданная на основе совместной работы сервера Theppek, адаптеров и XX-дисплея, осуществляет комплексное управление и анализ данных с различных датчиков. Это, в свою очередь, позволяет обеспечивать оперативный контроль и мониторинг влажности почвы. Все это дает возможность в полевых условиях эффективно и ресурсосберегающе управлять поливом.

Заключение. Таким образом, для улучшения качества полива и совершенствования технологий возделывания сельскохозяйственных культур предлагается использовать концептуальную схему аппаратно-программного комплекса «умного полива», основанную на цифровых интеллектуальных системах управления. Данная система позволяет в полевых условиях обес-

печивать в режиме реального времени оперативный контроль и мониторинг влажности почвы, управляя поливом, создавать оптимальные условия для растений и сократить нерациональное потребление оросительной воды. При этом эффективность орошения непосредственно зависит от полученных точных данных мониторинга влажности почвы. Используя полученные с помощью датчиков влажности почвы данные о характеристиках почвы, погодных условиях, потребностях во влаге возделываемых культур и параметрах ирригации, можно оптимизировать водный баланс и составить оптимальный график полива. Такой подход, прежде всего, способствует повышению урожайности, значительному сокращению потребности в воде, электроэнергии и удобрениях, что, в свою очередь, увеличивает прибыль и рентабельность хозяйства.

Conclusion. Thus, to improve irrigation quality and refine agricultural cultivation technologies, we propose using a conceptual design for the "Smart Irrigation" hardware and software system based on digital intelligent control systems. This system enables real-time control and monitoring of soil moisture in the field, managing irrigation, creating optimal conditions for plants, and reducing wasteful irrigation water consumption. Irrigation efficiency directly depends on accurate soil moisture monitoring data. Using data on soil characteristics, weather conditions, crop moisture requirements, and irrigation parameters obtained from soil moisture sensors, it is possible to optimize the water balance and create an optimal irrigation schedule. This approach, above all, contributes to increased crop yields and the significant reduction in the need for water, electricity, and fertilizers, which, in turn, increases profits and increases farm profitability.

Библиографический список

1. Акпасов А. П., Туктаров Р. Б., Морозов М. И., Акпасов П. П. Применение цифровых технологий для автоматизации ирригационного оборудования при выращивании сельскохозяйственных культур. Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2024. № 3. С. 3-11.

2. Ахмедов А. Д., Бабаев Д. Э., Липский Д. Д., Пискунов А. В. Особенности применения геоинформационных систем в мелиорации. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 3 (71). С. 394-402.

3. 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.

4. Курбанов С. А., Бородычев В. В., Лытов М. Н. Функциональная схема анализа данных и выработки управляющих решений на основе геоинформационной системы управления орошением. Проблемы развития АПК региона. 2018. № 4 (36). С. 65-70.

5. Соловьев Д. А., Камышова Г. Н., Терехова Н. Н. Цифровые технологии в управлении орошением. Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 93-97.

6. Щедрин В. Н. и др. Подходы к формированию информационной системы «Цифровая мелиорация». Информационные технологии и вычислительные системы. 2020. № 1. С. 53-64.

7. Юрченко И. Ф. Приоритетные направления и мероприятия современной цифровизации в мелиорации. Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 2. С. 84-100. http:www.rosniipm-sm.ru/article?n=1280

8. Braunger M. L. et al. Analysis of Macronutrients in Soil Using Impedimetric Multisensor Arrays. ACS Omega. 2024.

9. Bristow N. et al. Development of a LoRaWANIoT Node with Ion‐Selective Sensors for Soil Nitrate Monitoring. Sensors. 2022. V. 22.

10. Cotrim R. et al. Multi‐Hop LoRa-based underground network for soil moisture monitoring. Journal of Network and Computer Applications. 2024.

11. Kumar V. et al. A comprehensive review on smart and sustainable agriculture technologies. 2024.

12. Liopa-Tsakalidi A. et al. A LoRaWAN-based IoT platform for smart irrigation in olive groves. 2024.

13. Musa P. et al. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture. Sensors. 2023. V. 24 (1). Art. 51.

14. Sobhy D. M. et al. Soil Nutrient Monitoring Technologies for Sustainable Agriculture. Sustainability. 2025. No 17 (18). Art. 8477.

15. Han M. Navigating ethics in wireless sensor networks for sustainable food systems. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2025.

16. Zhao J., Wang L., Zhang Y. The role of remote sensing technology in precision irrigation. Precision Agriculture. 2021. V. 22 (3). Pp. 564-585.

References

1. Akpasov A. P., Tuktarov R. B., Morozov M. I., Akpasov P. P. Application of digital technologies for automation of irrigation equipment in growing agricultural crops. International journal of applied sciences and technologies "Integral". 2024. No 3. Pp. 3-11.

2. Akhmedov A. D., Babaev D. E., Lipskiy D. D., Piskunov A. V. Features of the application of geoinformation systems in land reclamation. Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: science and higher professional education. 2023. No 3 (71). Pp. 394-402.

3. Rulev A. S. et al. Geoinformation technologies in ensuring precision farming. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No 4 (52). Pp. 115-122.

4. Kurbanov S. A., Borodychev V. V., Lytov M. N. Functional diagram of data analysis and development of control decisions based on a geographic information system for irrigation management. Problems of Development of the Regional AIC. 2018. No 4 (36). Pp. 65-70.

5. Soloviev D. A., Kamyshova G. N., Terekhova N. N. Digital technologies in irrigation management. Agrarian Scientific Journal. 2019. No 4. Pp. 93-97.

6. Shchedrin V. N. et al. Approaches to the formation of the information system "Digital Land Reclamation". Information Technologies and Computing Systems. 2020. No 1. Pp. 53-64.
7. Yurchenko I. F. Priority Areas and Measures of Modern Digitalization in Land Reclamation. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2022. V. 12. No 2. Pp. 84-100. http:www.rosniipm-sm.ru/article?n=1280
8. Braunger M. L. et al. Analysis of Macronutrients in Soil Using Impedimetric Multisensor Arrays. ACS Omega. 2024.
9. Bristow N. et al. Development of a LoRaWANIoT Node with Ion‐Selective Sensors for Soil Nitrate Monitoring. Sensors. 2022. V. 22.
10. Cotrim R. et al. Multi‐Hop LoRa-based underground network for soil moisture monitoring. Journal of Network and Computer Applications. 2024.
11. Kumar V. et al. A comprehensive review on smart and sustainable agriculture technologies. 2024.
12. Liopa-Tsakalidi A. et al. A LoRaWAN-based IoT platform for smart irrigation in olive groves. 2024.
13. Musa P. et al. Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture. Sensors. 2023. V. 24 (1). Art. 51.
14. Sobhy D. M. et al. Soil Nutrient Monitoring Technologies for Sustainable Agriculture. Sustainability. 2025. No 17 (18). Art. 8477.
15. Han M. Navigating ethics in wireless sensor networks for sustainable food systems. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2025.
16. Zhao J., Wang L., Zhang Y. The role of remote sensing technology in precision irrigation. Precision Agriculture. 2021. V. 22 (3). Pp. 564-585.

Информация об авторе
Ахмедов Аскар Джангир оглы, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: askar-5@mail.ru
Исаев Мазахир Магоммед оглы, доктор технических наук, профессор, Азербайджанский университет архитектуры и строительства; Институт математики (Азербайджанская Республика, г. Баку), e-mail: mezahir@bk.ru
Халилов Халид Халиг оглы, аспирант, Институт математики (Азербайджанская Республика, г. Баку).
Касымов Камран Ровшан оглы, аспирант, Азербайджанский технологический университет (Азербайджанская Республика, г. Баку).

Authors' Information
Akhmedov Askar Dzhangir ogly, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: askar-5@mail.ru
Isaev Mazahir Magommed ogly, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Azerbaijan University of Architecture and Construction; Institute of Mathematics (Azerbaijan Republic, Baku), e-mail: mezahir@bk.ru
Khalilov Khalid Khalig ogly, graduate student, Institute of Mathematics (Azerbaijan Republic, Baku).
Kasimov Kamran Rovshan ogly, graduate student, Azerbaijan Technological University (Azerbaijan Republic, Baku).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-06

THE EFFICIENCY FACTOR IN THE LOWER VOLGA REGION ARID FARMING

[1]Belyakov A. M., [2]Belyakov I. A., [1]Koshelev A. V.

[1]Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
[2]InterTechnika Trade LLC
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alexkosh@mail.ru

Received 14.06.2026 Submitted 22.07.2026

The research was conducted within the framework of the state assignment of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences No. 125021302094-5 "Formation and functioning of adaptive agrarian forestry complexes in the south of Russia under conditions of climate change using digital technologies".

Summary
The article presents the results of the analysis of the implementation of progressive farming systems in the agricultural sector of the Lower Volga region, aimed at achieving a compromise between production and the preservation of the natural environment.

Abstract
Introduction. Due to droughts, gross grain yields in the Lower Volga region have fluctuated significantly in the recent past, with shortfalls of up to 80 % of maximum yields and pasture productivity of up to 70 %. Crop losses due to droughts in the Volgograd region averaged 400-600 thousand hectares, with the maximum loss observed in 2010, amounting to 1,218 thousand hectares. The key criterion for the stability and development of agriculture in the region is the efficiency of material, financial and energy investments, which is determined by the level of crop yield per investment. **Object of the study.** Agricultural landscapes and farming systems in the Volgograd region. **Materials and methods.** The research methodology is based on the analysis and synthesis of scientific literature and the application of modern research methods: field experiments for data collection, processing and analysis of experimental data, induction, deduction, and digital processing. The modern understanding of efficiency in agricultural production has been formed over a long period of time and has undergone significant transformation in form and content. Today, efficiency

includes not only the accounting of monetary, material, and energy costs, but also the preservation of the environment. **Results and conclusions.** Research results show that the implementation of scientifically based crop cultivation techniques and progressive farming systems allows for the conservation of soil moisture in the meter-deep layer at each stage of vegetation, on average from 10.7 to 32.0 mm, and the total effect can reach the volume of autumn-winter reserves. The implementation of adaptive landscape farming systems (ALFS) principles near Kursk in one of the research farms of the Research Institute for Soil Erosion Protection on an area of 560 hectares made it possible to increase the productivity of arable land by 2.1 times, protect arable land from erosion and improve the ravine-and-beam landscape. We have calculated the bioenergy efficiency of shallow and ploughing soil cultivation in four-field and two-field crop rotations, where energy costs reached 18.1-19.4 MJ per 1 hectare. The best bioenergy efficiency indicators are obtained with shallow tillage in a short rotation crop rotation. In agricultural practice, measures developed by science to combat drought are usually implemented very slowly for a variety of reasons, including low awareness among managers and technologists of agricultural enterprises, lack of sufficient financial resources, backwardness of the material and technical base, and low motivation of agricultural labor. Analysis of the data shows that a number of implementation indicators have low values of 0.15-0.30 (implementation of ALFS elements, soil fertility improvement indicators, crop structure). Further success in agriculture in areas with insufficient moisture, such as the Lower Volga region, lies in the rapid adoption of advanced scientific developments, the essence of which is a compromise between production and the preservation of the natural environment. This primarily involves the new organization of the territory on a landscape basis and its development, establishing the correct proportions between forest, meadow and arable land, biodiversity in crop structure and the application of modern agricultural technologies.

Keywords: *arid cultivation conditions, droughts, dry steppe zones, arid farming, resource-saving cultivation technologies.*

Citation. Belyakov A. M., Belyakov I. A., Koshelev A. V. The efficiency factor in the Lower Volga region arid farming. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 62-70 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-06.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC editorial board would like to express their gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.

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 631.586:633

ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЗАСУШЛИВОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

[1]Беляков А. М., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]Беляков И. А., *кандидат сельскохозяйственных наук*
[1]Кошелев А. В., *кандидат сельскохозяйственных наук*

[1]ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
[2]ООО «ИнтерТехника Трейд»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках темы государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН № 125021302094-5 «Формирование и функционирование адаптивных агролесомелиоративных комплексов юга России в условиях климатических изменений с использованием цифровых технологий»

Актуальность. По причине засух валовые сборы зерна в Нижнем Поволжье в недалеком прошлом имели высокие колебания: недобор составляет до 80 % от максимальных, продуктивность пастбищного корма – до 70 %. Гибель посевов от засух по Волгоградской области в среднем достигала 400-600 тыс. га, максимальная гибель наблюдалась в 2010 году и составила 1218 тыс. га. Ключевым критерием стабильности и развития земледелия в регионе является эффективность материальных, денежных и энергетических вложений, которые определяются уровнем отдачи урожайности культур на вложенные затраты. **Объект исследования.** Агроландшафты и системы земледелия в Волгоградской области. **Материалы и методы.** Методика исследований базируется на анализе и обобщении научной литературы, на применении современных методов исследований: полевых опытов по сбору материала, обработки и анализа экспериментального материала, индукции, дедукции, цифровых обработок. Современное понимание эффективности в сфере агропроизводства формировалось в течение длительного времени и претерпевало существенную трансформацию по форме и содержанию. В копилку эффективности сегодня включается не только учет денежных, материальных, энергетических затрат, но и показатели сохранения среды обитания. **Результаты и выводы.** Результаты исследований свидетельствуют, что внедрение в практику научно обоснованных приемов возделывания сельскохозяйственных культур и прогрессивных систем земледелия позволяет

экономить почвенную влагу в метровом слое на каждом этапе вегетации в среднем от 10,7 до 32,0 мм, а суммарно эффект может достигать объемов осенне-зимних запасов. Реализация принципов АЛСЗ под Курском в одном из ОПХ НИИ защиты почв от эрозии на площади 560 га позволила поднять продуктивность пашни в 2,1 раза, сохранить пашню от проявлений эрозии и обустроить овражно-балочный ландшафт. Нами просчитана биоэнергетическая эффективность мелкой и отвальной обработок почвы в четырехпольном и двухпольном севооборотах, где затраты энергии достигали 18,1-19,4 МДж на 1 га. Лучшие показатели биоэнергетической эффективности получены на мелкой обработке в короткоротационном севообороте. В практике земледелия, как правило, очень медленно реализуются разработанные наукой меры противодействия засушливым явлениям по самым разным причинам, в т. ч. из-за низкой информированности руководителей и технологов сельскохозяйственных предприятий, отсутствием достаточных финансовых средств, отсталости материально-технической базы и низкой мотивации сельского труда. Анализ данных свидетельствует, что ряд показателей внедрения имеют низкие значения – 0,15-0,30 (внедрение элементов АЛСЗ, показатели улучшения плодородия почвы, структура посева). Дальнейший успех земледелия в зонах дефицитного увлажнения, таких как Нижнее Поволжье, заключается в оперативном освоении передовых научных разработок, суть которых состоит в компромиссе между производством и сохранением природного комплекса. Это, прежде всего, новая организация территории на ландшафтной основе и ее обустройство, выстраивание правильной пропорции между лесом, лугом и пашней, биоразнообразие в структуре посева и применение современных агротехнологий.

Ключевые слова: *засушливые условия возделывания, засухи, сухостепные зоны, аридное земледелие, ресурсосберегающие технологии возделывания.*

Цитирование. Беляков А. М., Беляков И. А., Кошелев А. В. Фактор эффективности в засушливом земледелии Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 62-70. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-06.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Нижнее Поволжье охватывает сухостепную и полупустынную зоны каштановых почв Волгоградской, Астраханской, Ростовской областей, Ставропольского края и Республики Калмыкии. Общая площадь земель сельскохозяйственного назначения превышает 4,0 млн га. Данный регион располагает обширными пастбищами и пашней, однако в силу жестких почвенно-климатических условий возникает ряд проблем при производстве сельскохозяйственной продукции. Так, по причине засух валовые сборы зерна в недалеком прошлом имели высокие колебания, недобор составлял до 80 % от максимальных показателей, продуктивность пастбищных кормов снижалась до 70 %. Гибель посевов от засух по Волгоградской области в среднем достигала 400-600 тыс. га; максимальная гибель наблюдалась в 2010 году и составила 1218 тыс. га. Озимые в Нижнем Поволжье в отдельные годы подвергались вымерзанию или повреждению морозами, как в 2003, 2010 и 2024 годах [3, 14].

Риски возделывания ряда сельскохозяйственных культур связаны не только с неблагоприятными зональными почвенно-климатическими особенностями (температура воздуха от -30 °С зимой до +40 °С летом, осадки 270-320 мм в год, число суховейных дней от 6 до 36), но и с засушливыми погодными флуктуациями текущего года [9, 13]. Повторяемость засух в этих регионах составляет 30-40 %, дефицит увлажнения достигает 60-80 % от потребностей основных сельскохозяйственных культур (Сажин, 1993; Сажин и др., 2017) [2].

В силу низкой продуктивности культур себестоимость продукции в зоне Нижнего Поволжья всегда в три-четыре раза выше, чем в степных зонах черноземных почв, из-за значимой разницы зональных почвенно-климатических условий. Дефицит увлажнения в южных регионах РФ и низкий потенциал почвенного плодородия определяют направленность научных исследований. Ключевым критерием стабильности и развития земледелия в регионе является эффективность материальных, денежных, энергетических вложений, которая определяется уровнем отдачи урожайности культур на вложенные затраты.

Аграрная наука засушливого земледелия всегда искала способы решения обозначенных проблем с позиций эффективности производства продукции, вырабатывала приемы, технологии и комплексные системы нивелирования отрицательного воздействия ряда природных явлений на посевы сельскохозяйственных культур (Шульмейстер, 1995; Сухов и др., 2007; Овчинников и др., 2011; Мальцев, 1971; Бараев, 1975; Румянцев, 1964; Мельников, 2006; Сулейманов, 2005; Система адаптивного…, 2009 и др.).

В современное понимание эффективности включено понятие ресурсосбережения, как экономия семян, удобрений, ГСМ, средств защиты растений и других составляющих затрат, которые существенно влияют на снижение себестоимости производства продукции. Критерий энергосбережения в агротехнологиях стал учитываться с ростом механизации сельского хозяйства, а в настоящее время в структуру эффективности пришло понимание экологической сбалансированности агротехнологий и систем земледелия (Система адаптивного…, 2009; Орлова и др., 2006; Овчинников и др., 2011; Malezieux, 2012) [1, 5, 6, 7, 11, 12].

Материалы и методы. Методы исследований общепринятые. Методика исследований базируется на анализе и обобщении научной литературы, на применении современных методов исследований: полевых опытов, сбора, обработки и анализа экспериментального материала, индукции, дедукции, цифровой обработки. Исследования опирались на методики, разработанные ВНИАЛМИ, ГНУ ВНИИЗиЗПЭ, ФГБНУ «Росинформагротех», П. Н. Константиновым, М. М. Горянским, методику Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1985 г.).

Результаты и обсуждения. Современное понимание эффективности в сфере агропроизводства формировалось в течение длительного времени и претерпевало существенную трансформацию по форме и содержанию [3].

На первом этапе, до зарождения земледелия, в понятие эффективности входили поиск и добыча готовых даров природы, главным образом их количество.

На втором этапе, с началом развития земледелия, она сводилась к освоению наиболее плодородных участков и территорий, для обеспечения и наращивания объемов производства продукции.

На третьем этапе эффективность агропроизводства связалась с заменой ручного труда машинным, интенсивным приходом в отрасль машин и механизмов, механизацией отдельных процессов, а позже – полного цикла производства, что сопровождалось существенным ростом производительности труда и объемов производства продукции.

На четвертом, современном этапе в качестве эффективной цели ставятся не только количество и качество сельскохозяйственной продукции, но и степень отдачи материальных и денежных затрат.

В копилку эффективности сегодня включается не только учет денежных, материальных, энергетических затрат, но и показатель сохранения среды обитания.

Примером достижения показателей эффективности и поставленных целей может служить технологический инструментарий противодействия засушливым явлениям, разработанный аграрной наукой [4, 8, 12]:

1. Агроэкологическое районирование территории региона, организация и обустройство территории землепользования.
2. Целенаправленная селекция культур на жаро- и засухоустойчивость с организацией качественного семеноводства и семеноведения.
3. Построение научно обоснованной структуры посева с освоением высокопродуктивных парозерновых и парозернопропашных севооборотов и зональной оптимизации доли чистых паров.
4. Дифференцированная обработка почвы, улучшающая агрофизические параметры почвы и ее плодородие.
5. Освоение агротехнологий нового поколения и систем улучшения водного и пищевого режимов почв для обеспечения высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и поддержания положительного баланса элементов питания в почве.
6. Внедрение интегрированной системы защиты посевов с использованием современных химических и биологических средств воздействия.

Обобщение результатов теоретических исследований, научных разработок прошлого и настоящего, опыта лучших хозяйств привело к выстраиванию комплексной системы «сухого» земледелия для природных зон с засушливым климатом, реализация которой в 1980-2000 годах стабилизировала валовые сборы сельскохозяйственной продукции, в т. ч. Зерновых, на уровне 4,0-5,0 млн т, а также экономику сельскохозяйственных предприятий засушливого земледелия Нижнего Поволжья, обеспечивая эффективность производства.

Система «сухого» земледелия предполагала оптимизацию доли чистых паров по природно-климатическим зонам, рациональное соотношение посевов между озимым и яровым клином, между колосовыми, пропашными и кормовыми культурами. В результате

урожайность зерновых по Волгоградской области и другим засушливым регионам выросла с 6-7 ц/га в 1920-1940 годах до 16,6 ц/га в 1960-1970 годах и до 20,0-25,0 ц/га. В настоящее время передовые хозяйства в каштановой зоне имеют результаты в 30-40 ц/га, что позволяет поднять валовые сборы зерна и других культур в 3-4 раза и выйти на уровень получения 10-12 кг зерна на 1 мм осадков.

С приходом в экономику рыночных отношений в 1990-х годах система «сухого» земледелия претерпела ряд существенных изменений (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что доля парового поля выросла с 22,3 % до 28,6-33,0 % от пашни. Резко сократился зерновой клин – с 25 % до 10,7 %, а кормовые культуры практически выпали из севооборота (с 20,1 % до 1,8 %). Посевы подсолнечника существенно выросли – с 3,6 % до 14,3 %, появилась пашня вне обработки (до 21,4 %, в абсолютных величинах 930-1200 тыс. га). Таким образом, в структуре посева сегодня налицо монополия озимой пшеницы и подсолнечника, в практике превалирует мелкая и поверхностная обработка почвы. Уровень возврата элементов питания в начале 200-х0 годов составлял 7-12 кг д. в. на 1 га, а в 2020-2022 гг. вырос до 41-46 кг/га, вместо расчетных 80-100 кг/га, что приводит к фитосанитарной напряженности и дальнейшей деградации почв.

Следует отметить, что 28-30 марта 2015 года на юге и на севере области наблюдалось проявление ветровой эрозии с серьезным выносом плодородного слоя почвы с полей от 7,2 до 54,0 т с гектара (Октябрьский район, с. Жутово; Котельниковский район, п. Равнинный; Еланский район, х. Большевик; Клетский район, х. Черенский).

Таблица 1 – Структура посевных площадей Волгоградской области, тыс. га
Table 1 – Structure of cultivated areas in the Volgograd Region, thousand hectares

№ п/п	Структура посева и использования пашни / Structure of sowing and use of arable land	1980-1990 гг.	2000-2009 гг.	2011-2015 гг.
1.	Пар чистый / Clean fallow	1350	1300	1400-1500
2.	Озимые / Winter crops	1500	1300	1200-1400
3.	Яровые зерновые и зернобобовые / Spring grain and grain-legume crops	1550	600-700	516-600
	в т. ч. яровая пшеница / including spring wheat	240-200	100	37-60
	Ячмень / Barley	798-637	280	280-300
	Овес / Oats	100	60	25-65
	Кукуруза на зерно / Corn for grain	100-200	80	50-100
	Просо, гречиха / Millet, buckwheat	197	100	40-60
	Зернобобовые / Grain and legume crops	100-165	60	60-90
4.	Масличные / Oilseeds crops	390	600-700	644-867
	в т. ч. подсолнечник / including sunflower	220	500-600	600-800
	Горчица / Mustard	170	180	15-50
5.	Кормовые, всего / Forage crops, total	1208	180	112
6.	Пашня вне обработки / Arable land not cultivated	-	1500	930-1200
7.	Всего посевов / Total crops	4648	3100	2700-2800
	Всего пашни / Total arable land	6100	5900	5600

Дальнейший успех земледелия в зонах дефицитного увлажнения, таких как Нижнее Поволжье, заключается в освоении адаптивно-ландшафтной системы земледелия (АЛСЗ), суть которой состоит в компромиссе между производством и сохранением природного комплекса. Это, прежде всего, новая организация территории на ландшафтной основе и ее обустройство, выстраивание правильной пропорции между лесом, лугом и пашней, биоразнообразие в структуре посева и применение современных агротехнологий. Реализация принципов АЛСЗ под Курском в одном из ОПХ НИИ защиты почв от эрозии на площади 560 га позволила поднять продуктивность пашни в 2,1 раза, сохранить пашню от проявлений эрозии и обустроить овражно-балочный ландшафт (ВНИИЗиЗПЭ, 2011; 2012).

Нами проведены анализ и расчет эффективности отдельных технологических приемов для засушливого земледелия Нижнего Поволжья по сохранению почвенной влаги, которые представлены в таблице 2. Результаты исследований свидетельствуют, что внедрение в практику научно обоснованных приемов возделывания позволяют экономить почвенную влагу в метровом слое на каждом этапе вегетации в среднем от 10,7 до 32,0 мм, а суммарный эффект может достигать осенне-зимних запасов.

Таблица 2 – Эффективность отдельных технологических приемов по сохранению почвенной влаги, м
Table 2 – Effectiveness of individual technological methods for soil moisture conservation, m

№ п/п	Технологические приемы / Technological techniques	Экономия влаги, мм / Moisture savings, mm
1.	Глубокое рыхление почвы (плоскорез) / Deep soil loosening (flat cutter)	16,0-25,0
2.	Плуг (глубокорыхлитель) безотвальный «стойка сибирская – СИБИМЭ» / Plough (subsoiler) moldboard-less "Siberian rack – SIBIME"	7,9-9,6
3.	Стерневой фон / Stubble background	10,7-32,3
4.	Предшественник со стержневой корневой системой / Predecessor with taproot system	15,0-26,0
5.	Своевременность проведения технических приемов / Timeliness of technical procedures	12,0-29,0
6.	Мульчирование слоя почвы растительными остатками, землерастительной массой / Mulching the soil layer with plant residues, soil and plant matter	19,0-28,0
7.	Уходные мероприятия (гербициды, росторегуляторы) / Care measures (herbicides, growth regulators)	22,0-32,0

В практике земледелия, как правило, очень слабо реализуются разработанные наукой меры противодействия засушливым явлениям по самым разным причинам, в т. ч. из-за низкой информированности руководителей и технологов сельскохозяйственных предприятий, отсутствия достаточных финансовых средств, отсталости материально-технической базы и низкой мотивации сельского труда (таблица 3).

Таблица 3 – Степень реализации разработанных мер противодействия засушливым явлениям на основе разработанных наукой систем земледелия
Table 3 – Degree of implementation of measures developed to combat drought based on scientifically developed farming systems

№ п/п	Наименование показателей элементов систем земледелия / Name of indicators of elements of agricultural systems	Усредненный коэффициент фактического использования / Average actual utilization rate
1.	Подбор культур / Selection of crops	0,3
2.	Структура посева / Sowing structure	0,2
3.	Оптимизация доли чистых паров / Optimization of the share of clean fallow	0,6-0,7
4.	Основная обработка почвы / Primary soil cultivation	0,5
5.	Селекция на жаро-засухоустойчивость / Breeding for heat and drought resistance	0,7
6.	Система семеноводства / Seed production system	0,4-0,8
7.	Техника (новая, адаптивная) / Equipment (new, adaptive)	0,4-0,6
8.	Агротехнология / Agrotechnology	0,6-0,7
9.	Элементы АЛЗС / Elements of ALFS	0,2-0,3
10.	Меры улучшения плодородия почв / Measures for improving soil fertility	0,15

Анализ данных свидетельствует, что ряд показателей имеет низкие значения 0,15-0,30 (внедрение элементов АЛСЗ, показатели улучшения плодородия почвы, структура посева), 2-3 показателя (обработка почвы, доля чистых паров) имеют средние значения 0,4-0,6, а также есть показатели (селекция, система семеноводства) с показателями 0,7-0,8. Таким образом, научные и системные разработки трудно доходят до реализации на практике, и над этим следует работать. Эта проблема скорее управленческая, чем технологическая.

Нами рассчитана биоэнергетическая эффективность мелкой и отвальной обработок почвы в четырехпольном и двухпольном севооборотах, где затраты энергии достигали 18,1-19,4 МДж. га 1 га. Лучшие показатели биоэнергетической эффективности получены при мелкой обработке в короткоротационном севообороте (таблица 4).

Таблица 4 – Биоэнергетические показатели энергосберегающей обработки почвы (в среднем за 1981-2022 гг.)
Table 4 – Bioenergy indicators of energy-saving soil cultivation (average for 1981-2022)

Севообороты / Crop rotations	Варианты обработки почвы / Soil cultivation options	Затраты энергии на 1 га, МДж / Energy costs per 1 ha, MJ	Коэффициент биоэнергетической эффективности / Bioenergetic efficiency coefficient
Черный пар – озимая пшеница – яровая пшеница – ячмень (контроль) / Black fallow – winter wheat – spring wheat – barley (control)	Отвальная (к) / Moldboard tillage (c)	19,4	2,7
	Мелкая / Shallow tillage	18,1	2,8
Черный пар – озимая пшеница / Black fallow – winter wheat	Отвальная (к) / Moldboard tillage (c)	19,4	2,8
	Мелкая / Shallow tillage	18,7	2,9

Дальнейшее совершенствование системы ресурсо- и влагосбережения в земледелии может идти по следующим направлениям:

1. Интродукция растений, подбор культур в севообороте, целевая селекция и адаптация их к конкретным местным условиям произрастания.

2. Улучшение водно-физических свойств зональных и интразональных почв за счет лесомелиорации, новых видов обработки почв, пополнения органики, чередования культур, внесения удобрений и т. д.

Важным аспектом данного направления являются дальнейшие исследования почв и особенно процессов гумусообразования, осолонцевания, засоления, а также способы их мелиорации.

3. Усовершенствование агротехнологий возделывания культур, где будут оптимизированы технологические приемы эффективного использования осенне-зимних запасов почвенной влаги и осадков вегетационного периода. Углубление теории парового поля, где будут определены количественные и качественные критерии чистого пара, в т. ч. критические пороги увлажнения посевного и корнеобитаемого слоев почвы, эффективные способы ухода за паром.

4. Совершенствование рабочих органов, орудий, машин для всех видов обработки почвы, посева, ухода и уборки урожая.

5. Составной частью совершенствования механизма накопления и влагосбережения осадков является соблюдение сроков и времени проведения технологических операций, оптимизация площади питания, создание высокопродуктивной структуры посева, контроль сорной растительности, применение комплекса защитных мероприятий, в т. ч. регуляторов роста, микроэлементов, биопрепаратов.

Заключение. Таким образом, фактор эффективности при ведении земледелия в условиях Нижнего Поволжья во времени претерпел 5 этапов развития по причине качественных изменений и имеет важное экономическое и экологическое значение.

На показатели эффективности засушливого земледелия существенное влияние оказывают научные разработки, реализованные в агротехнологиях и системах земледелия. Так, за счет ресурсо-и влагосбережения можно дополнительно аккумулировать до 26-31 % запасов почвенной влаги в осенне-зимний период и до 60 % осадков вегетационного периода и мобилизовать их на формирование урожая и получение дополнительной продукции, что позитивно отражается на себестоимости продукции и экономике отрасли.

Перспектива развития засушливого земледелия Нижнего Поволжья во многом зависит от степени реализации технологических разработок, расширения понимания экономической, энергетической и экологической эффективности.

Conclusions. Thus, the factor of efficiency in agriculture in the Lower Volga region has undergone five stages of development over time due to qualitative changes, and is of significant economic and environmental importance.

Scientific developments implemented in agricultural technologies and farming systems have a significant impact on the efficiency indicators of arid farming. Thus, through resource and moisture conservation, it is possible to accumulate up to 26-31 % of soil moisture reserves in the autumn-winter

period and up to 60 % of precipitation during the growing season and mobilize them for crop formation and additional production, which has a positive impact on the cost of production and the economy of the industry.

The prospects for the development of arid agriculture in the Lower Volga region largely depend on the degree of implementation of technological developments and the expansion of understanding of their effectiveness, economic, energy and environmental benefits.

Библиографический список

1. Белобров В. П. и др. Структура почвенного покрова и технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 4. С. 53-57.
2. Беляков А. М., Кошелев А. В. Особенности проявления деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны Волгоградской области. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 120-130.
3. Беляков А. М. Погода и урожай за 60 лет: статистика и анализ погоды и урожаев по Волгоградской области. Волгоград: ООО «Принт», 2019. 88 с.
4. Беляков А. М. Трансформация видов обработок почвы в условиях Волгоградской области и анализ сдерживающих факторов в развитии технологии прямого посева. Сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5 (14). С. 26-33.
5. Землепользование России в условиях изменения глобального климата и беспрецедентных социально-экономических вызовов: состояние почвенного покрова, тенденции изменения, деградация, методология учёта. Прогнозы. М.: Изд-во МБА, 2022. 100 с.
6. Иванов А. Л. и др. Эффективность и почвозащитная роль системы прямого посева на черноземах России. Почвоведение. 2025. № 9. С. 1225-1238.
7. Иванов А. Л., Духанин Ю. А., Хорошева Л. О. Актуальные задачи в сфере сельскохозяйственного землепользования Российской Федерации и их решение. Вестник Российской академии наук. 2025. № 6. С. 30-39.
8. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачева 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., Рулев А. С., Сажин А. Н. Глобальные процессы дефляции в степных экосистемах. Метеорология и гидрология. 2018. № 9. С. 72-80.
10. Назарова М. В., Беляков А. М. Проблема дефляции почвы в агроландшафтах аридной зоны Волгоградской области. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. № 16 (6). С. 127-144.
11. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Волгоградской области. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 256 с.
12. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): национальный доклад. М.: Изд-во МБА, 2021. Т. 3. 700 с.
13. Пугачёва А. М. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутации. Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22.
14. Ткаченко Н. А. Засухи и урожайность зерновых культур в Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 171-178.

References

1. Belobrov V. P. et al. Soil covers structure and cultivation technologies of agricultural crops. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2021. No 4. Pp. 53-57.
2. Belyakov A. M., Koshelev A. V. Features of the manifestation of degradation processes in the agricultural landscapes of the dry-steppe zone of the Volgograd region. Arid ecological systems. 2023. V. 29. No 1 (94). Pp. 120-130.
3. Belyakov A. M. Weather and harvest over 60 years: statistics and analysis of weather and harvests in the Volgograd region. Volgograd: OOO "Print", 2019. 88 p.
4. Belyakov A. M. Transformation of types of soil cultivation in the Volgograd region and analysis of constraints in the development of direct seeding technology. Agricultural Journal. 2021. No 5 (14). Pp. 26-33.
5. Land use in Russia under conditions of global climate change and unprecedented socio-economic challenges: soil cover status, change trends, degradation, accounting methodology. Forecasts. Moscow: MBA Publishing House, 2022. 100 p.
6. Ivanov A. L. et al. Efficiency and soil conservation role of the direct seeding system on Russian chernozems. Soil Science. 2025. No 9. Pp. 1225-1238.
7. Ivanov A. L., Dukhanin Yu. A., Khorosheva L. O. Actual tasks in the sphere of agricultural land use of the Russian Federation and their solution. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2025. No 6. Pp. 30-39.
8. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The role of protective afforestation in the fight against drought and desertification of agricultural landscapes. Arid ecosystems. 2023. V. 29. No 1 (94). Pp. 4-14.
9. Kulik K. N., Rulev A. S., Sazhin A. N. Global deflation processes in steppe ecosystems. Meteorology and Hydrology. 2018. No 9. Pp. 72-80.
10. Nazarova M. V., Belyakov A. M. The problem of soil deflation in agricultural landscapes of the arid zone of the Volgograd region. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. No 16 (6). Pp. 127-144.
11. National Action Program to Combat Desertification of the Volgograd Region. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2024. 256 p.
12. Global Climate and Soil Cover of Russia: Drought Manifestations, Prevention, Control, Elimination of Consequences, and Adaptation Measures (Agriculture and Forestry): National Report. Moscow: MBA Publishing House, 2021. V. 3. 700 p.
13. Pugacheva A. M. Climatic Fluctuations of Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process. Arid Ecosystems. 2020. V. 26. No 3 (84). Pp. 14-22.
14. Tkachenko N. A. Droughts and grain crop yields in the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No 4 (52). Pp. 171-178.

Информация об авторах

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

Беляков Иван Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, директор по продажам, ООО «ИнтерТехника Трейд» (Российская Федерация, 400075, г. Волгоград, ул. Неждановой, 6А), e-mail: dokbam49@mail.ru

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

Authors' Information

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

Belyakov Ivan Aleksandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Sales Director, InterTechnika Trade LLC (Russian Federation, 400075, Volgograd, Nezhdanova Str., 6A), e-mail: dokbam49@mail.ru

Koshelev Aleksandr Valentinovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Centre for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID 0000-0003-4048-7549, e-mail: alexkosh@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-07

THE GRAIN SECURITY. THE ANALYSIS METHODOLOGY, THE MODELING AND THE FORECASTING

[1]Darmanian A. P., [1]Bogdanov S. I., [2]Maignan Sch.

[1]Volgograd State Agrarian University,
Volgograd, Russian Federation
[2]Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: adarma@inbox.ru

Received 26.03.2026 Submitted 30.05.2026

Summary

The article presents the results of applying a new methodology for analyzing and comparing population statistics and grain production volumes using a quantitative indicator to assess grain security in the world and in individual countries.

Abstract

Introduction. One of the aims of sustainable human development in the coming years is to ensure food security for the ever-growing global population. Food security in a given country and globally is achieved when the rate of growth in grain production outpaces population growth. The World Bank database contains statistics on global population growth and grain production statistics for all countries. Grain security is typically assessed using the ratio of grain production per capita and the percentage difference between different time periods. However, this approach does not allow for forecasting for future periods. Furthermore, quantitative comparison of population and grain production statistics is difficult due to the difference in their dimensions and different growth trends (positive or negative). Assessing population growth trends and grain production volumes requires a new statistical analysis methodology that would allow for comparison both globally and within each individual country over a given time period. A simple and understandable indicator is also needed for quantitatively assessing grain security. **Object.** Population growth and grain production statistics worldwide. **Materials and methods.** The study period was 2002-2023, and a methodology for analyzing and comparing statistics of various dimensions was developed. This methodology primarily utilized the Pareto principle to identify leading countries, whose total contribution to global grain production exceeded 70 %. Linear mathematical models were developed for these countries' population and production statistics, converted to dimensionless form, with parameters characterizing the rate of change of each variable under study. A new indicator, the coefficient of grain safety (Kgs), was used to quantitatively assess food security. This indicator represented the ratio of the dimensionless growth rates of grain production and population. **Results and conclusions.** Eight leading countries were identified: China, the United States, India, the European Union, Russia, Brazil, Argentina, and Indonesia, which accounted for 70 % of the world's total grain production in 2022. Linear mathematical models describing grain production and population statistics were found for each country in specific time periods. These models were used to calculate the grain security coefficient (Kgs). Using the Kgs index, countries were ranked and identified as having stable and unstable grain security. Among all countries, Indonesia and Russia had the highest Kgs values, indicating a stable situation in these countries. Globally, from 2003 to 2022, according to the grain security index, the growth rate of GPV exceeded the population growth rate by almost two times. Based on this, it was concluded that if the GPV situation in leading countries as of 2023 continues into the future, global food security will be stable.

Keywords: *grain production volumes, population statistics, grain production statistics, grain security, and Pareto data.*

Citation. Darmanian A. P., Bogdanov S. I., Maignan Sch. The grain security. The analysis methodology, the modeling and the forecasting. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 70-79 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-07.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 633.1

ЗЕРНОВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

[1]Дарманян А. П., *доктор технических наук, профессор*
[1]Богданов С. И., *кандидат технических наук, доцент*
[2]Менян Ш., *кандидат технических наук, доцент*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]НИУ «Московский государственный университет городского строительства»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Одной из целей устойчивого развития человечества на ближайшие годы является обеспечение продовольственной безопасности постоянно увеличивающегося населения планеты. Продовольственная безопасность в отдельной стране и в мире обеспечена тогда, когда скорость роста производства зерна опережает скорость роста населения. В БД Всемирного банка имеется статистика роста населения мира и статистика производства зерна всеми странами мира. Для оценки состояния зерновой безопасности обычно используют отношение количества производимого зерна в расчете на одного человека и вычисление разницы процентов в различные временные периоды. Однако такой подход не позволяет выполнить прогнозирование на будущие периоды времени. Кроме того, количественно сравнить статистику населения и производства зерна трудно ввиду разности их размерностей и различных тенденций роста (положительная или отрицательная). Для оценки тенденций роста населения и объема производства зерна нужна новая методология анализа статистики, которая позволяла бы их сравнивать как в мире, так и в каждой отдельной стране за определенный временной период, а также нужен простой и понятный коэффициент (показатель) для количественной оценки состояния зерновой безопасности. **Объект** – статистика роста населения и объема производства зерна в странах мира. **Материалы и методы:** для исследования был выбран период 2002-2023 годов и разработана методология анализа и сравнения статистики различной размерности. Согласно этой методологии, прежде всего с помощью принципа Парето выявляли страны-лидеры, чей суммарный вклад в объем производства зерна в мире составлял более 70 %. Для статистики населения и объема производства таких стран находили безразмерные линейные математические модели, параметры которых характеризовали скорости изменения каждой исследуемой величины. Для количественной оценки продовольственной безопасности сформулировали новый показатель – коэффициент зерновой безопасности (The coefficient of grain safety) Kgs, который представляет собой отношение безразмерных скоростей роста объема производства зерна и населения. **Результаты и выводы.** Выявлены восемь стран-лидеров Китай, США, Индия, Евросоюз, Россия, Бразилия, Аргентина и Индонезия, которые в 2022 году давали 70 % всего объема производства зерна в мире. Для каждой страны в определенные временные периоды найдены линейные математические модели, описывающие статистику объема производства зерна и населения, параметры которых использованы для вычисления коэффициента зерновой безопасности Kgs. С помощью Kgs выполнено ранжирование стран и определены страны со стабильным и с нестабильным состоянием зерновой безопасности. Среди всех стран мира Индонезия и Россия имели самые высокие значения показателя Kgs, что свидетельствует о стабильной ситуации в этих странах. В мире за период 2003-2022 гг., согласно значению зерновой безопасности, скорость роста GPV превышала скорость роста населения почти в 2 раза. На основании этого сделан вывод о том, что если сложившаяся до 2023 года ситуация с GPV в странах-лидерах сохранится и в будущем, то продовольственная безопасность в мире будет стабильной.

Ключевые слова: *объемы производства зерна, статистика населения, статистика зернопроизводства, зерновая безопасность, данные Парето.*

Цитирование. Дарманян А. П., Богданов С. И., Менян Ш. Зерновая безопасность. Методология анализа, моделирование и прогнозирование. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 70-79. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-07.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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 концепции продовольственной безопасности [1] проблема голода занимает особенное место, так как масштабы голода в мире продолжают расти и по прогнозам специалистов в 2030 году от голода будут страдать порядка 670 миллионов человек или 8 % населения планеты [2].

Среди различных продуктов питания зерно занимает особое место, так как в нем содержатся все жизненно необходимые для человека питательные вещества, а хлеб во многих странах мира является одним из важнейших продуктов питания [3]. Поэтому производство зерна в каждой стране является одним из наиболее важных элементов продовольственной безопасности.

Такой общепринятый показатель, как объем производства зерна (the Grain production volume – далее GPV), как в мире, так и в каждой отдельной стране нужно обязательно исследовать вместе с ростом населения (population, далее – P), так как население в большинстве стран мира с годами увеличивается [4]. Именно поэтому с годами изменяется ситуация с обеспечением населения продовольствием [3, 5].

Данные статистики населения и GPV за период 2002-2023 годов имеются в БД Всемирного банка (The World Bank) [4, 6]. Для изучения тенденций этих показателей используют различные математические модели, среди которых предпочтительнее, на наш взгляд, использовать линейные модели, параметры которых можно найти с помощью метода наименьших квадратов (МНК) в среде MS Excel [7, 8]. Однако при использовании математических моделей статистики населения и GPV с целью их сравнения возникает сложность из-за различия в их размерностях, так как размерность величины GPV – тонны, а величины населения – человек. А так как всегда интересно сравнить тенденции этих показателей, то для этого необходим количественный показатель и своя методология анализа.

В работе [7] была предложена методология анализа статистик GPV и населения за определенный временной период. Согласно этой методологии, сначала с помощью принципа Парето [9] выявляют те страны мира, которые обеспечивают 80 % общего результата GPV мира. Затем показатели GPV и населения этих стран преобразовывают в безразмерный вид, находят их тенденции и проводят сравнение скоростей роста. С помощью такой методики был выполнен анализ тенденций GPV и населения различных стран мира за период 1961-2020 годов. Результаты, представленные в [7], требуют корректировки с учетом новых статистических данных за 2021-2023 годы. Кроме того, в указанной работе не дана количественная оценка состояния зерновой безопасности в мире в целом и в отдельных странах, а также не был выполнен сравнительный анализ этих стран по данному показателю.

Целью настоящей работы является применение новой методологии анализа статистики населения и объема производства зерна с использованием количественного показателя для оценки зерновой безопасности в мире и в тех странах, которые за последние 10 лет во многом определяли зерновую безопасность мира.

Материалы и методы. Для исследования тенденций роста населения P и объема производства зерна GPV в различных странах мира мы разработали методологию анализа данных официальной статистики и с помощью этой методологии выполнили сравнение тенденций этих показателей за определенный период времени с использованием таких статистических методов, как принцип Парето («The 80/20 Principle» [9]) и методы анализа временных рядов (Time Series, TS) [7, 10].

Статистики населения P и GPV за период 2003-2023 годов в различных странах мира были сформированы в виде временных рядов, состоящих из ежегодных показателей БД Всемирного банка за последние 20 лет [4, 6]. При этом значения GPV [4] относятся только к культурам, собранным для получения сухого зерна. Статистика GPV для всего мира была получена путем суммирования GPV всех стран мира, исключая страны Евросоюза, а величины GPV Евросоюза были получены из общей БД [4] путем суммирования значений этого показателя для 27 входящих в него стран.

Исследование статистики населения и GPV в данной работе проводилось с помощью анализа временных рядов (TS) $\{P_i, P_i = f(t_i)\}$ и $\{G_i, G_i = f(t_i)\}$, где $t_i < t_{i+1}$. Для сравнения статистик $P_i=f(t_i)$ и $G_i=f(t_i)$, которые имеют различную размерность (человек и метрические тонны, соответственно), была разработана и применена новая методология анализа, подробно изложенная далее.

Методология анализа. Прежде всего, из общей статистики GPV за 2012 г. и 2022 г. [4] были выбраны страны, чей годовой объем GPV составлял 1 % и более от общего мирового GPV. Значения GPV в этих странах были ранжированы от максимального к минимальному, затем была определена доля GPV (%) каждой страны по отношению к общему объему GPV в мире. Затем полученные доли (%) всех стран ранжированного списка были просуммированы накопительным итогом, начиная с максимального значения, в результате чего были получены так называемые «данные Парето» [9]. С использованием этих данных была построена диаграмма Парето, с помощью которой были определены страны, которые обеспечивали в 2012 г. и в 2022 г. зерновую безопасность мира.

Затем для таких стран было выполнено математическое моделирование статистики населения и GPV с целью выявления их тенденций за определенный временной период. Для моделирования тенденций населения $P_i=f(t_i)$ и GPV $G_i=f(t_i)$ в каждой стране и во всем мире были использованы только такие временные периоды, для которых справедливы линейные модели следующего вида:

$$P(t_i)= a_0 + a_1 \times t_i + \varepsilon(t_i), \quad i = 1,2.....N \tag{1}$$

$$G(t_i)= b_0 + b_1 \times t_i + \varepsilon(t_i), \quad i = 1,2.....N \tag{2}$$

где a_0, a_1, b_0, b_1 – параметры моделей; t_i – порядковый номер года, начиная от выбранного значения начала периода исследования, $t_1 = 1$; $\varepsilon(t_i)$ – случайная составляющая TS.

Для того чтобы иметь возможность сравнивать тенденцию роста населения с тенденцией роста GPV, т. е. их скорости роста за определенный временной период, данные величины были преобразованы в безразмерные величины P и G. Использование безразмерных величин для математического моделирования имеет существенное преимущество перед использованием размерных величин, что было неоднократно показано нами в других работах [7, 10, 11].

Для населения:

$$P = P(t_i)/P(t_1) \tag{3}$$

Для GPV:

$$G = G(t_i)/G(t_1), \tag{4}$$

где $P(t_i)$ и $G(t_i)$ – размерные значения населения и GPV в i-й год, соответственно; $P(t_1)$ и $G(t_1)$ – значения этих же величин в тот год, который выбран за начало временного периода исследования, $t_1 = 1$.

Далее с помощью метода МНК средствами MS Excel для статистики населения и GPV были найдены параметры a_0, a_1 тенденции населения в безразмерном виде P (3) и параметры b_0, b_1 тенденции GPV (4). Так как параметры линейных моделей a_1 и b_1 характеризуют скорости роста величин P и G в течение выбранного временного периода, с их помощью уже можно проводить сравнение тенденции статистики GPV с тенденцией статистики населения.

Для количественной оценки состояния зерновой безопасности в отдельной стране и в мире за определенный временной период, а также для прогнозирования ситуации в будущем нами был введен новый показатель, названный «коэффициентом зерновой безопасности» Kgs (The coefficient of grain safety) в виде:

$$Kgs = |b_1/a_1| \tag{5}$$

Модуль в выражении (5) использован потому, что параметры b_1 и a_1 могут быть отрицательными, если какая-либо из функций P (3) или G (4) убывает со временем (отрицательная тенденция). По абсолютной величине коэффициент Kgs может быть как больше, так и меньше единицы, а также равен единице. Когда $Kgs > 1$, то тенденции GPV и населения P (скорости роста) являются положительными величинами, т. е. в течение выбранного временного периода наблюдается их постоянный рост, причем скорость роста GPV пре-

вышает скорость роста населения P. В таком случае состояние продовольственной безопасности в данной стране можно прогнозировать как стабильное. Поэтому прогноз на будущий период времени в таком случае будет указывать на стабильную и положительную ситуацию с продовольствием в данной стране. И наоборот, если Kgs < 1, то скорость роста населения (величина a_1 в выражении (1)) больше скорости роста GPV (величина b_1 в выражении (2)), и прогноз для данной страны – потенциальная возможность нестабильной ситуации с продовольствием в будущем. При Kgs = 1 состояние продовольственной безопасности на грани нестабильности.

Результаты и обсуждение. Согласно предложенной методологии, был выполнен анализ статистик населения и GPV стран мира за период 2002-2022 годов. Прежде всего, с помощью принципа Парето были выявлены те страны мира, которые обеспечивали зерновую безопасность последние 10 лет, в 2012 г. и в 2022 г. Для этого из статистик всех стран мира были выбраны восемнадцать стран мира, чей GPV в 2012 г. и в 2022 г. превышал 1 % от GPV мира (таблица 1).

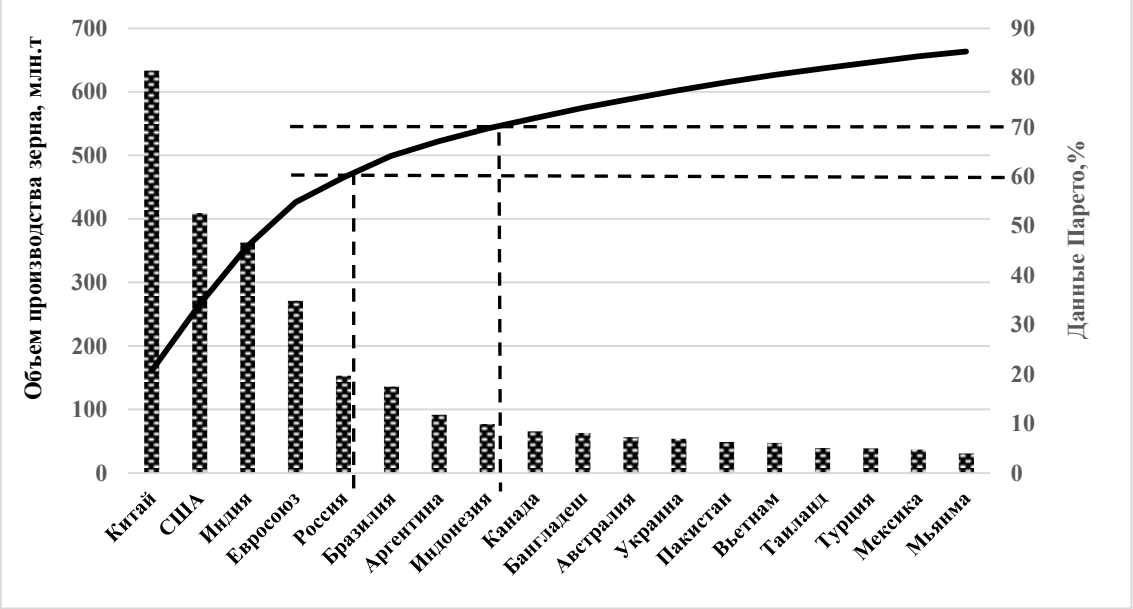


Рисунок 1 – Диаграмма Парето для 2022 г.
Figure 1 – Pareto chart for 2022

В 2012 г. 1 % от GPV мира составлял 25,56927 млн т, а в 2022 г. – 30,5964 млн т [4]. Для этих стран были вычислены данные Парето, которые приведены в таблице 1 и показаны на рисунке 1 для 2022 г. в виде так называемой диаграммы Парето [9].

Согласно принципу Парето, определяющим вкладом в общий результат является величина 80 % («The 80/20 Principle» [9]), которую обычно используют в исследованиях. Однако анализ GPV стран мира показал, что вклад в GPV всего мира от 60 % до 70 % за десятилетие 2012-2022 гг. вносило ограниченное количество стран. И, напротив, было много стран, которые вносили свой вклад в GPV мира для достижения суммарного значения вклада от 60 %-70 % до 80 %. На этом основании в дальнейшем мы использовали соотношения для принципа Парето как «70/30» и с помощью графика Парето (рисунок 1) выявляли только те страны, которые производили до 70 % GPV всего мира. Такие страны мы рассматривали как страны-лидеры, которые своим суммарным вкладом в GPV всего мира определяют его глобальную зерновую безопасность.

На диаграмме Парето (рисунок 1) левая вертикальная ось – величина GPV (млн т), а правая вертикальная ось – данные Парето (%). Согласно выбранному соотношению «70/30» для применения принципа Парето, горизонтальная линия на рисунке 1 проведена на уровне 70 %, которая отсекает страны, дающие в сумме 70 % общего результата GPV в мире. Как видно на рисунке 1, в 2022 г. такие 8 стран мира, как Китай, США, Индия, Евросоюз, Россия, Бразилия, Аргентина и Индонезия, давали 70 % всего GPV в мире.

Таблица 1 – Данные Парето для стран и мира в целом в 2012 г. и в 2022 г.
Table 1 – Pareto data for countries and the world in 2012 and 2022

2012			2022		
Страна / Country	млн т / Million tons	Данные Парето, % / Pareto data, %	Страна / Country	млн т / Million tons	Данные Парето, % / Pareto data, %
Китай / China	541,64	21,2	Китай / China	633,13	20,7
США / USA	356,21	35,1	США / USA	408,90	34,1
Индия / India	293,29	46,6	Индия / India	362,47	45,9
Евросоюз / European Union	265,40	57,0	Евросоюз / European Union	270,83	54,8
Бразилия / Brazil	89,90	60,5	Россия / Russia	153,09	59,8
Индонезия / Indonesia	79,09	63,6	Бразилия / Brazil	135,74	64,2
Россия / Russia	68,75	66,3	Аргентина / Argentina	91,58	67,2
Бангладеш / Bangladesh	52,80	68,3	Индонезия / Indonesia	77,10	69,7
Канада / Canada	51,84	70,4	Канада / Canada	65,04	71,8
Вьетнам / Vietnam	48,71	72,3	Бангладеш / Bangladesh	62,54	73,9
Аргентина / Argentina	47,37	74,1	Австралия / Australia	56,31	75,7
Украина / Ukraine	45,75	75,9	Украина / Ukraine	53,53	77,5
Таиланд / Thailand	43,43	77,6	Пакистан / Pakistan	48,52	79,1
Австралия / Australia	43,36	79,3	Вьетнам / Vietnam	47,08	80,6
Пакистан / Pakistan	36,50	80,7	Таиланд / Thailand	38,83	81,9
Турция / Turkey	33,61	82,1	Турция / Turkey	38,67	83,1
Мексика / Mexico	33,37	83,4	Мексика / Mexico	36,33	84,3
Мьянма / Myanmar	28,76	84,5	Мьянма / Myanmar	30,71	85,3
Мир в целом / World at large	2556,927	100	Мир в целом / World at large	3059,640	100

Аналогично для 2012 г. с помощью данных Парето было найдено, что восемь стран Китай, США, Индия, Евросоюз, Бразилия, Индонезия, Россия и Бангладеш – давали 70 % всего GPV в мире (таблица 1). Если учесть, что такие пять стран как Китай, США, Индия, Евросоюз и Россия давали почти 60 % всего GPV в мире в 2022 г. (рисунок 1 и таблица 1), то именно эти пять стран нужно рассматривать как страны-лидеры, от которых зависит зерновая безопасность мира и в будущем.

Моделирование статистик роста населения и GPV. На этом этапе для выявленных стран-лидеров из БД статистик Всемирного банка [4, 6] были выбраны временные периоды за 2003-2023 годах, в течение которых тенденции роста населения и GPV в этих странах были линейными (1) и (2) (примечание к таблице 2). Затем для каждой страны были найдены безразмерные линейные математические модели в виде выражений (3) и (4), которые для различных стран приведены в таблице 2 и показаны на графике рисунка 2 для мира в целом в период 2003-2022 годы.

Таблица 2 – Коэффициент зерновой безопасности и математические модели безразмерных тенденций роста населения и GPV в странах мира
Table 2 – Grain safety factor and mathematical models of dimensionless population growth trends and GPV in countries around the world

Страна / Country	Производство зерна / Grain production	Население / Population	Kgs	Период / Period
Китай / China	$G = 0{,}0069 \times t_i + 0{,}981 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}0023 \times t_i + 1{,}002 + \varepsilon(t_i)$	3,0	2003-2023
США / USA	$G = 0{,}0119 \times t_i + 1{,}072 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}008 \times t_i + 0{,}998 + \varepsilon(t_i)$	1,5	2003-2023
Индия / India	$G = 0{,}0284 \times t_i + 0{,}924 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}0144 \times t_i + 0{,}993 + \varepsilon(t_i)$	2,0	2003-2023
Россия / Russia	$G = 0{,}0543 \times t_i + 0{,}938 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}0006 \times t_i + 0{,}989 + \varepsilon(t_i)$	90,5	2003-2023
Бразилия / Brazil	$G = 0{,}061 \times t_i + 0{,}724 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}010 \times t_i + 0{,}995 + \varepsilon(t_i)$	6,1	2003-2023
Аргентина / Argentina	$G = 0{,}099 \times t_i + 0{,}662 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}011 \times t_i + 0{,}985 + \varepsilon(t_i)$	9,0	2003-2022
Индонезия / Indonesia	$G = 0{,}115 \times t_i + 0{,}993 + \varepsilon(t_i)$	$P = -0{,}002 \times t_i + 1{,}053 + \varepsilon(t_i)$	57,5	2008-2023
Канада / Canada	$G = 0{,}0129 \times t_i + 0{,}965 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}012 \times t_i + 0{,}979 + \varepsilon(t_i)$	1,1	2003-2023
Бангладеш / Bangladesh	$G = 0{,}031 \times t_i + 0{,}980 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}013 \times t_i + 0{,}987 + \varepsilon(t_i)$	2,4	2003-2023
Вьетнам / Vietnam	$G = 0{,}015 \times t_i + 0{,}991 + \varepsilon(t_i)$	$P = -0{,}002 \times t_i + 1{,}042 + \varepsilon(t_i)$	7,5	2011-2023
Пакистан / Pakistan	$G = 0{,}035 \times t_i + 0{,}996 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}021 \times t_i + 0{,}987 + \varepsilon(t_i)$	1,7	2003-2023
Турция / Turkey	$G = 0{,}009 \times t_i + 1{,}026 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}015 \times t_i + 0{,}980 + \varepsilon(t_i)$	0,6	2003-2023
Мексика / Mexico	$G = 0{,}010 \times t_i + 0{,}986 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}013 \times t_i + 0{,}990 + \varepsilon(t_i)$	0,8	2003-2023
Таиланд / Thailand	$G = 0.0035 \times t_i + 1{,}055 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}006 \times t_i + 1{,}003 + \varepsilon(t_i)$	0,6	2003-2023
Евросоюз / European Union	$G = 0{,}0070 \times t_i + 1{,}143 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}002 \times t_i + 1{,}003 + \varepsilon(t_i)$	3,5	2003-2022
Мьянма / Myanmar	$G = 0{,}0104 \times t_i + 0{,}992 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}007 \times t_i + 0{,}993 + \varepsilon(t_i)$	1,5	2016-2023
Австралия / Australia	$G = 0{,}0547 \times t_i + 1{,}523 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}018 \times t_i + 0{,}974 + \varepsilon(t_i)$	3,0	2003-2023
Украина / Ukraine	$G = 0{,}0547 \times t_i + 1{,}523 + \varepsilon(t_i)$	$P = -0{,}004 \times t_i + 0{,}996 + \varepsilon(t_i)$	13,7	2003-2021
World	$G = 0{,}025 \times t_i + 1{,}022 + \varepsilon(t_i)$	$P = 0{,}013 \times t_i + 0{,}987 + \varepsilon(t_i)$	1,9	2003-2022

Как видно из таблицы 2 и рисунка 2, все тенденции безразмерных величин P и GPV для выбранных временных периодов являются линейными, причем углы наклона прямых (параметры перед переменной t_i в выражениях для P и G в таблице 2) определяют скорости роста величин P и G.

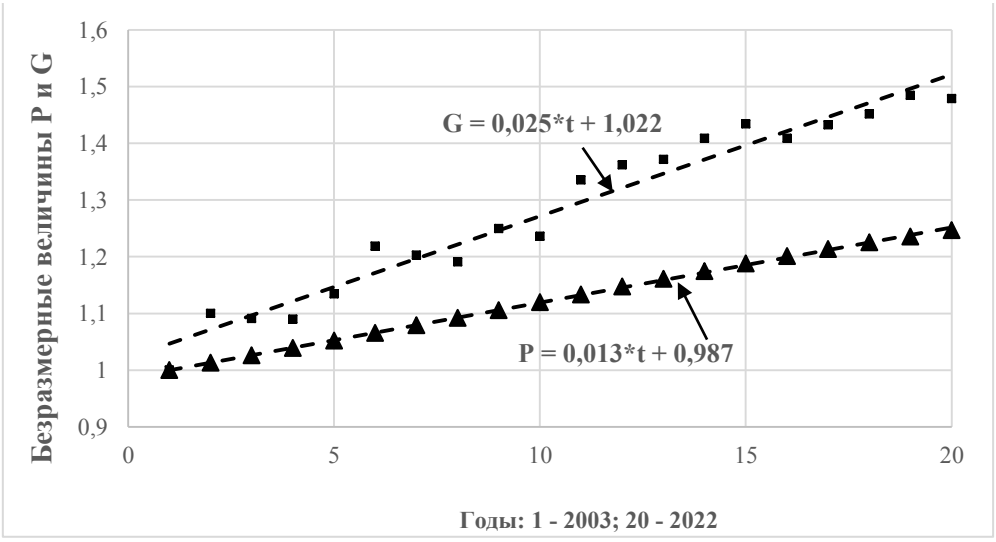


Рисунок 2 – Безразмерные тенденции населения P и объема производства зерна G
Figure 2 – Dimensionless trends in population P and grain production G

Коэффициент зерновой безопасности. С помощью найденных математических моделей для P и G (таблица 2) для каждой страны и для мира в целом был вычислен коэффициент зерновой безопасности Kgs по выражению (5), значения которого также приведены в таблице 2. Как видно, значение коэффициента Kgs изменяется в широких пределах: от очень малого значения $Kgs = 0{,}6$ (Турция) до очень высокого $Kgs = 90{,}5$ (Россия), что свидетельствует о различной ситуации с зерновой безопасностью в странах мира в период 2003-2023 годов. Хотя для мира в целом значение $Kgs = 1{,}9$ (таблица 2) свидетельствует о стабильной ситуации с зерновой безопасностью в мире за последние 20 лет, в период 2003-2023 годов.

Ввиду большого диапазона значений коэффициента Kgs далее было выполнено ранжирование всех стран по этому показателю для $Kgs < 2{,}0$ и $Kgs > 2{,}0$ отдельно, в результате чего были получены диаграммы, показанные на рисунках 3 и 4, причем пунктирной линией на рисунке 4 на уровне Kgs =1 отмечена граница стабильности.

Среди всех стран мира такие страны, как Индонезия и Россия, имеют самые высокие значения показателя Kgs = 57,5 и $Kgs = 90{,}5$, соответственно (таблица 2 и рисунок 3), что отражает тот факт, что скорость роста GPV в этих странах во много раз превышала скорость роста населения в период 2003-2023 годов и, следовательно, в этих странах была стабильная ситуация с зерновой безопасностью.

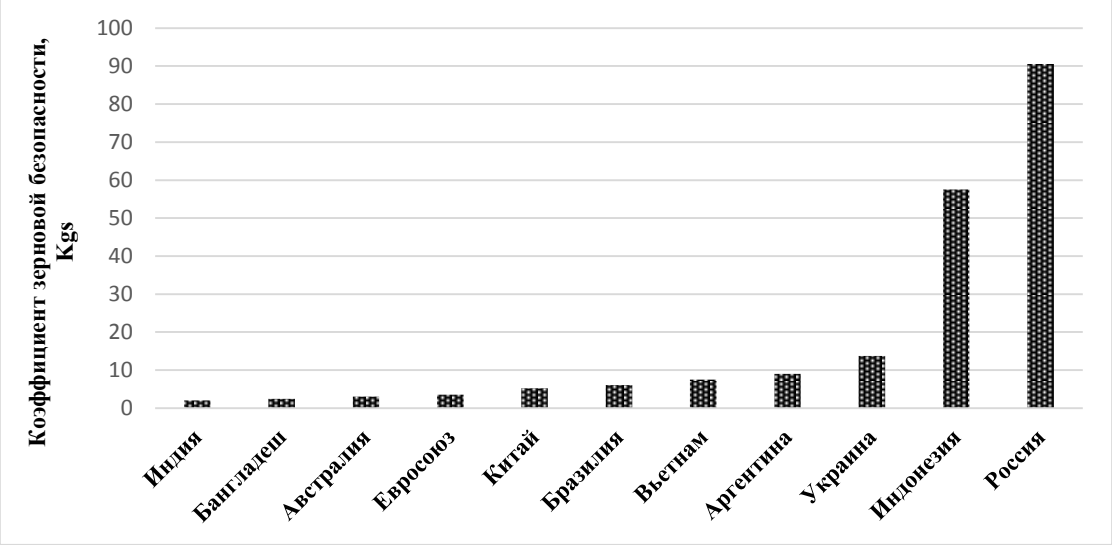


Рисунок 3 – Коэффициент зерновой безопасности для стран до 2023 г. с $Kgs > 2{,}0$
Figure 3 – Grain security indicator for countries of the world until 2023 with $Kgs > 2{,}0$

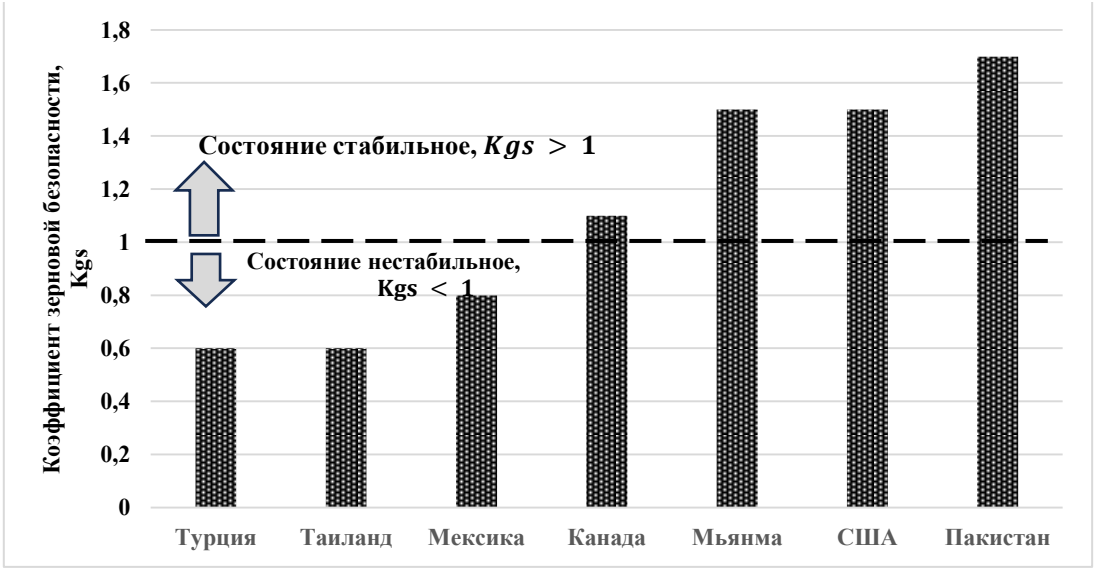


Рисунок 4 – Коэффициент зерновой безопасности для стран до 2023 г. с $Kgs < 2{,}0$.
Пунктирная линия $Kgs = 1$ – граница стабильности
Figure 4 – Grain security indicator for countries of the world until 2023 with $Kgs < 2{,}0$.
The dotted line Kgs=1 is the stability limit

В то же время, как видно из данных в таблице 2 и из диаграммы на рисунке 4 (пунктирная линия), для Турции, Таиланда и Мексики показатель Kgs < 1. Это свидетельствует о том, что в этих странах, наоборот, скорость роста населения превышает скорость роста GPV, что указывает на нестабильное состояние зерновой безопасности в этих странах.

Заключение. На основе предложенной методологии анализа тенденций статистики населения и объема производства зерна (GPV) за период 2012-2022 годов показано, что среди 190 стран мира страны-лидеры – Китай, США, Индия, Евросоюз, Россия, Бразилия, Аргентина и Украина – все вместе обеспечивали 70 % мирового GPV. С использованием линейных математических моделей выполнено сравнение тенденций населения и GPV в различных странах мира, а также оценено состояние зерновой безопасности в отдельных странах и в мире в целом. Для количественной оценки состояния зерновой безопасности сформулирован коэффициент зерновой безопасности Kgs, имеющий ясный смысл как отношение скорости тенденции статистики GPV к скорости тенденции статистики населения. Вычисленные значения коэффициента Kgs выявили различное состояние зерновой безопасности в странах мира. Так, Индонезия и Россия имели самые высокие значения показателя: Kgs = 57,5 и $\mathrm{Kgs} = 90{,}5$, соответственно. Это свидетельствует о том, что скорость роста GPV в период 2003-2023 годов в этих странах во много раз превышала скорость роста населения и, следовательно, в этих странах наблюдалась стабильная ситуация с зерновой безопасностью. Наоборот, в Турции, Таиланде и Мексике в этот же период состояние зерновой безопасности было нестабильным (Kgs < 1), так как скорость роста населения опережала скорость роста GPV. Для мира в целом за период 2003-2023 годов коэффициент зерновой безопасности составлял Kgs = 1,9, что свидетельствует о том, что скорость роста GPV в мире в этот период превышала скорость роста населения почти в 2 раза.

Достоинство предложенной методологии анализа статистики заключается в универсальности ее применения. Действительно, при изменении данных с течением времени параметры линейных моделей статистики нужно уточнить и вновь рассчитать коэффициент зерновой безопасности Kgs, с помощью которого можно сделать выводы о сложившемся новом состоянии зерновой безопасности.

В заключение следует заметить, что, так как проблема голода на планете остается актуальной [2], для ее решения роль всех стран мира, на наш взгляд, должна состоять в создании условий, обеспечивающих доступность зерна для каждого жителя планеты. То есть необходимо, обеспечить справедливое распределение зерна по всем странам мира.

Conclusions. Based on the proposed methodology for analyzing population and grain production volume (GPV) trends for the period 2012-2022, it is shown that among 190 countries, the leading countries China, the United States, India, the European Union, Russia, Brazil, Argentina, and Ukraine together accounted for 70 % of the world's total GPV. Using linear mathematical models, population and GPV trends were compared across countries, and the state of grain security was assessed in individual countries and globally. To quantitatively assess the state of grain security, the grain security coefficient Kgs was formulated, which is clearly defined as the ratio of the rate of trend in GPV statistics to the rate of trend in population statistics. The calculated Kgs coefficient values revealed different grain security conditions across countries. Indonesia and Russia had the highest Kgs = 57,5 и $\mathrm{Kgs} = 90{,}5$, respectively. This indicates that the GPV growth rate in these countries during the 2003-2023 period was many times higher than the population growth rate, and, therefore, their grain security situation was stable. Conversely, in Turkey, Thailand, and Mexico, the grain security situation was unstable during this same period (Kgs < 1), as the population growth rate outpaced the GPV growth rate. For the world as a whole, the grain security coefficient for the 2003-2023 period was Kgs = 1.9, indicating that the global GPV growth rate during this period was almost twice as high as the population growth rate.

The advantage of the proposed statistical analysis methodology lies in its universal applicability. Indeed, if data changes over time, the parameters of the linear statistical models must be refined and the grain security coefficient Kgs recalculated, allowing conclusions to be drawn about the current state of grain security.

Finally, it should be noted that since the problem of global hunger still persists [2], in our view, the role of all countries in addressing it must be to create conditions that ensure grain availability for every inhabitant of the planet. In other words, it is necessary, as they say, to ensure a fair distribution of grain among all countries.

Библиографический список

1. Анищенко А. Н., Шутьков А. А. Проблемы реализации Доктрины продовольственной безопасности России. Продовольственная политика и безопасность. 2021. Т. 8. № 1. С. 9-22.
2. Робертсон А. и др. Питание и здоровье в Европе: новая основа для действий. Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. 2022. No 96. 525 с.
3. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome: FAO, 2022.
4. The World Bank. Cereal production (metric tons). https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL
5. The World Bank. Population, total. https://data.worldbank.org/indicator/AG.PRD.CREL.MT
6. Тебекин П. А. и др. Проблемы обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации в части производства зерна. Журнал экономических исследований. 2023. Т. 9. № 5. С. 1-13.

7. Богданов С. И., Дарманян А. П., Маркин М. А. Исследование и математическое моделирование кинетики сушки зерна озимой пшеницы. Известия НВ АУК: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 439-448.
8. Darmanyan A. P. et al. Comparative analysis of volume and growth trends of grain production and word population. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2023. V. 1241. Art. 012087.
9. Кох Р. Принцип 80/20. Секрет достижения большего с меньшими затратами. ЭКСМО, 2012. 443 с. https://www.google.ru/books/edition
10. Кружилин И. П., Овчинников А. С., Мелихов А. В. Волгоградский государственный аграрный университет в образовании и научном обеспечении комплексных мероприятий. Известия НВ АУК: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4 (36). С. 8-21.
11. Hausler R. et al. Comparative analysis of solid waste generation statistics and regional population number (The case of Doula city, Cameroon). Journal of Social and Environmental Management. 2025. V. 19. № 7. Art. e012997.

References

1. Anishchenko A. N., Shutkov A. A. Problems of implementing the Doctrine of Food Security of Russia. Food Policy and Security. 2021. V. 8. No. 1. Pp. 9-22.
2. Robertson A. et al. Nutrition and health in Europe: a new basis for action. WHO Regional Publications, European Series. 2022. No. 96. 525 p.
3. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome: FAO, 2022.
4. The World Bank. Cereal production (metric tons). https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL
5. The World Bank. Population, total. https://data.worldbank.org/indicator/AG.PRD.CREL.MT
6. Tebekin P. A. et al. Problems of Ensuring Food Security of the Russian Federation in Terms of Grain Production. Journal of Economic Research. 2023. V. 9. No. 5. Pp. 1-13.
7. Bogdanov S. I., Darmanyan A. P., Markin M. A. Research and Mathematical Modeling of Winter Wheat Grain Drying Kinetics. Proceedings of the NV AUC: Science and Higher Professional Education. 2022. No 2 (66). Pp. 439-448.
8. Darmanyan A. P. et al. Comparative analysis of volume and growth trends of grain production and word population. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2023. V. 1241. Art. 012087.
9. Koch R. The 80/20 Principle: The Secret to Achieving More with Less. EKSMO, 2012. 443 p. https://www.google.ru/books/edition
10. Kruzhilin I. P., Ovchinnikov A. S., Melikhov A. V. Volgograd State Agrarian University in Education and Scientific Support of Complex Activities. Proceedings of the NV AUC: Science and Higher Professional Education, 2014. No 4 (36). Pp.8-21.
11. Hausler R. et al. Comparative analysis of solid waste generation statistics and regional population number (The case of Doula city, Cameroon). Journal of Social and Environmental Management. 2025. V. 19. № 7. Art. e012997.

Информация об авторах

Дарманян Анатолий Петрович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: adarma@inbox.ru
Богданов Сергей Иванович, доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: bsi@mail.ru
Менян Шуберт, доцент, кандидат технических наук, НИУ Московский государственный университет городского строительства (Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26), e-mail: schubert.maignan@gmail.com

Authors' Information

Darmanian Anatoli Petrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: adarma@inbox.ru
Bogdanov Sergei Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: bsi@mail.ru
Maignan Schubert, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26), e-mail: schubert.maignan@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-08

THE WINTER TRITICALE AS THE WINTER WHEAT ALTERNATIVE IN THE GRAIN PRODUCTION

[1]Kapranov V. N., [1]Tegesov D. S., [1]Kiselyov E. F., [1,2]Zelenev A. V., [1]Kuzmich M. A., [1]Garmash N. Yu.

[1]Federal Research Center «Nemchinovka»
[2]Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
Moscow, Russian Federation

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

Received 09.04.2026 Submitted 30.06.2026

Summary

The article presents a comparative assessment of the productivity and grain quality of winter wheat and triticale varieties at different levels of agro-technological intensification, substantiating the possibility of using the stable triticale variety Nemchinovsky 56 as an adaptive alternative to wheat for diversifying grain production and reducing risks in conditions of climatic instability.

Abstract

Introduction. Despite its pronounced agricultural and ecological potential, winter triticale still remains an underutilized crop in the structure of cultivated areas. The study is aimed at a comprehensive assessment of triticale varieties (Nemchinovsky 56, Nina) in comparison with winter wheat (Moskovskaya 40, Nemchinovskaya 85) in terms of productivity indicators and technological properties of grain with varying cultivation intensity. **Materials and methods.** Field experiments were carried out at the Federal Research Center "Nemchinovka" in conditions of the medium loamy soil. The two-factor experiment involved changing the genotypic background and the level of agronomic load, differentiated by mineral nutrition standards (from $N_{90}P_{60}K_{90}$ to $N_{150}P_{120}K_{180}$) and a step-by-step system of phytosanitary measures. **Results and conclusions.** The actual results revealed fundamental differences in the adaptive plasticity of the studied crops. Wheat genotypes realized high biological potential, reaching 13.7 t/ha, but were accompanied by significant interannual dispersion (the coefficient of variation varied within 24-28 %), which indicates a significant production risk in unstable seasons. In contrast to this, triticale Nemchinovsky 56 formed a stable yield of about 9 t/ha under maximum agricultural conditions with minimal statistical spread (V=16 %, σ=1.34). The amplitude of productivity fluctuations in wheat exceeded 7.4 t/ha, while in the hybrid of wheat and rye it did not exceed 4.56 t/ha. Laboratory testing confirmed the dominance of wheat in terms of baking characteristics. The grain nature varied from 780 to 822 g/l for wheat and from 740 to 786 g/l for triticale. The wet gluten content, the IDC index, and the specific volume of baked bread in wheat lines consistently exceeded their analogues by 15-45 %. Endosperm vitreousness indices also correlated with the level of agricultural technology, reaching 79 % in wheat and 59 % in triticale. Moreover, the hybrid of wheat and rye provided a more pronounced positive response to the intensification of mineral nutrition. It follows that Nemchinovsky 56 is advisable to implement in risky farming zones due to its guaranteed stability. Wheat remains a priority, provided regulations are strictly followed and hydro-meteorological conditions are favorable. Triticale represents a cost-effective alternative for feed and industrial purposes. In conditions of climatic anomalies, genotype stability becomes a key factor in the economic security of farms.

Keywords: *winter triticale, winter wheat, quality of triticale grain, quality of triticale flour, triticale varieties.*

Citation. Kapranov V. N., Tegesov D. S., Kiselyov E. F., Zelenev A. V., Kuzmich M. A., Garmash N. Yu. The winter triticale as the winter wheat alternative in the grain production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 79-90 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-08.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors contributed equally to the planning, execution, and analysis of this study. The final version of the manuscript was approved by all co-authors.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.112.9"324":633.11"324"

ОЗИМАЯ ТРИТИКАЛЕ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ

[1]Капранов В. Н., *доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник*
[1]Тегесов Д. С., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[1]Киселёв Е. Ф., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[1,2]Зеленев А. В., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник*
[1]Кузьмич М. А., *доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник*
[1]Гармаш Н. Ю., *доктор биологических наук, главный научный сотрудник*

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

Актуальность. Несмотря на выраженный агроэкологический потенциал, озимая тритикале до настоящего времени сохраняет статус недостаточно востребованной культуры в структуре посевных площадей. Исследование направлено на комплексную оценку сортов тритикале (Немчиновский 56, Нина) в сравнении с озимой пшеницей (Московская 40, Немчиновская 85) по показателям продуктивности и технологическим свойствам зерна при варьировании интенсивности возделывания. **Материалы и методы.** Полевые эксперименты реализованы на базе ФИЦ «Немчиновка» в условиях агродерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Двухфакторный эксперимент предполагал изменение генотипического фона и уровня агротехнической нагрузки, дифференцируемого нормами минерального питания (от $N_{90}P_{60}K_{90}$ до $N_{150}P_{120}K_{180}$) и ступенчатой системой фитосанитарных мероприятий. **Результаты и выводы.** Фактические результаты выявили принципиальные различия в адаптивной пластичности исследуемых культур. Пшеничные сорта реализовали высокий биопотенциал, достигая 13,7 т/га, однако сопровождались значительной межгодовой дисперсией (коэффици-

ент вариации варьировал в пределах 24-28 %), что указывает на существенный производственный риск в нестабильные сезоны. В противовес этому, тритикале Немчиновский 56 сформировала стабильный урожай около 9 т/га на максимальном агрофоне при минимальном статистическом разбросе (V = 16 %, σ = 1,34). Амплитуда колебаний продуктивности у пшеницы превышала 7,4 т/га, тогда как у гибрида пшеницы и ржи не выходила за рамки 4,56 т/га. Лабораторное испытание подтвердило доминирование пшеницы по хлебопекарным характеристикам. Натура зерна варьировала от 780 до 822 г/л у пшеницы и от 740 до 786 г/л у тритикале. Содержание сырой клейковины, показатель ИДК и удельный объём выпеченного хлеба у пшеничных сортов стабильно превосходили аналоги на 15-45 %. Показатели стекловидности эндосперма также коррелировали с уровнем агротехники, достигая 79 % у пшеницы и 59 % у тритикале. При этом гибрид пшеницы и ржи обеспечивал более выраженную положительную реакцию на интенсификацию минерального питания. Отсюда следует, что Немчиновский 56 целесообразно внедрять в зонах рискованного земледелия благодаря гарантированной стабильности. Пшеница остаётся приоритетом при точном соблюдении регламентов и благоприятном гидрометеорологическом фоне. Тритикале представляет рентабельную альтернативу для кормовых и промышленных нужд. В условиях климатических аномалий стабильность сорта становится ключевым фактором экономической безопасности хозяйств.

Ключевые слова: *озимая тритикале, озимая пшеница, качество зерна тритикале, качество муки тритикале, сорта тритикале.*

Цитирование. Капранов В. Н., Тегесов Д. С., Киселёв Е. Ф., Зеленев А. В., Кузьмич М. А., Гармаш Н. Ю. Озимая тритикале как альтернатива озимой пшенице в производстве зерновой продукции. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 79-90. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-08.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. Все авторы внесли эквивалентный вклад в планирование, выполнение и анализ данного исследования. Окончательная версия рукописи была согласована всеми соавторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Традиционно озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) удерживает лидирующие позиции в структуре зернового клина, что продиктовано её выдающимися мукомольно-хлебопекарными параметрами и устойчивым коммерческим спросом [1, 2]. Вместе с тем, чрезмерная концентрация данной культуры в севооборотах дестабилизирует агроэкосистемы, повышая чувствительность производственных систем к резким колебаниям метеопараметров и эпифитотиям [3]. В условиях учащения экстремальных погодных явлений стратегическим ответом на данные вызовы становится озимая тритикале (*Triticosecale* Wittm.) – межродовой гибрид, целенаправленно созданный для синергии продукционного потенциала пшеницы и компенсаторных механизмов ржи [4, 5]. Уникальная генетическая архитектура вида обеспечивает высокую отзывчивость на агрохимическое обеспечение, одновременно сохраняя толерантность к деградированным поверхностным слоям почвы, дефициту атмосферных осадков и распространённым патогенам [6]. Благодаря такому сочетанию признаков культура способна минимизировать риски недобора урожая и формировать предсказуемые экономические результаты даже в неблагоприятные вегетационные сезоны [7]. Следовательно, интеграция тритикале в региональные севообороты выступает действенным инструментом диверсификации растениеводства, способствуя укреплению продовольственной безопасности и повышению экологической устойчивости аграрного сектора в зонах неустойчивого увлажнения.

Несмотря на доказанный агроэкологический потенциал, озимая тритикале в современной растениеводческой парадигме занимает периферийное положение [8, 9, 10, 11]. На протяжении последних десятилетий фиксируется стабильная негативная динамика посевных площадей под данной культурой, что обусловлено экономическими приоритетами сельхозтоваропроизводителей, смещёнными в сторону более рентабельных пшеничных сортов [12, 13]. Ключевым сдерживающим фактором выступает укоренившееся восприятие тритикале исключительно как кормового компонента [14, 15, 16]. Дискуссионный статус её применения в хлебопекарной отрасли, формально подтверждающий данный стереотип, в действительности отражает системный пробел в селекционных программах и отсутствие верифицированных агротехнологических регламентов, а не биологическую непригодность вида [17]. Существующий сортовой пул характеризуется выраженной гетерогенностью по реологическим параметрам клейковины и активности ферментов амилолитического ряда, что создаёт благоприятную основу для целенаправленного отбора сортов, способных формировать муку с удовлетворительными хлебопекарными характеристиками [18]. Сле-

довательно, трансформация тритикале из нишевой кормовой культуры в полноправный элемент продовольственного зернового рынка требует синхронизации сортовых изысканий с адаптацией перерабатывающих технологий.

Цель исследования заключалась в дифференцированной оценке продукционной эффективности и технологических параметров зерна у сортов озимой тритикале (Немчиновский 56, Нина) в сопоставлении с традиционно возделываемыми сортами озимой пшеницы (Московская 40, Немчиновская 85) на фоне поэтапного повышения уровня агротехнической интенсификации.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования реализованы на базе многолетних полевых опытов, заложенных на территории ФИЦ «Немчиновка» (Московская область, д. Соколово). Доминирующим почвенным типом на участке выступает агродерново-подзолистая почва со среднетяжёлым гранулометрическим составом. Пространственная неоднородность микрорельефа обусловила дифференциацию агрохимического фона: кислотно-щелочные параметры колебались в интервале от слабокислой до нейтральной реакции. По уровню доступного фосфора верхние почвенные слои классифицировались как высокообеспеченные (V-VI группа), содержание подвижного калия варьировало от среднего до повышенного, концентрация обменного кальция соответствовала средним значениям, тогда как запасы обменного магния оценивались как дефицитные.

В качестве экспериментального материала выступили сорта озимой пшеницы (*Московская 40*, *Немчиновская 85*) и озимой тритикале (*Немчиновский 56*, *Нина*). Данный набор селекционных форм обеспечил репрезентативную основу для дифференцированной оценки адаптивной пластичности культур при реализации сортоориентированных агротехнических регламентов.

Организация полевого эксперимента опиралась на двухфакторную схему, предусматривавшую одновременное варьирование независимых переменных. Первым фактором выступал генотипический фон (четыре исследуемых сорта), вторым – агротехнологический режим, дифференцированный по трем уровням интенсивности: базовой, интенсивной и высокоинтенсивной.

Дифференциация технологических режимов осуществлялась за счёт разделения нормативов минерального питания и интенсивности фитосанитарных обработок. Расчёт норм удобрений производился под целевую продуктивность: 5-6 т/га для базового уровня ($N_{90}P_{60}K_{90}$), 6-8 т/га для интенсивного ($N_{120}P_{90}K_{120}$) и свыше 10 т/га для высокоинтенсивного ($N_{150}P_{120}K_{180}$). Фосфорно-калийные компоненты вносились единовременно при основной обработке почвы, тогда как азотный фонд распределялся дробно. Стартовая норма N_{30} применялась совместно с P и K, ранневесенняя подкормка N_{60} была унифицирована для всех вариантов. Дополнительное внесение N_{30} практиковалось на интенсивном и высокоинтенсивном уровнях, а финальная норма N_{30} – исключительно на максимальном агрофоне. Фитосанитарный комплекс начинался с обязательного протравливания семенного материала. Вегетационные обработки реализовывались по ступенчатому принципу: осеннее и ранневесеннее (фаза кущения) опрыскивание комплексными баковыми композициями (гербицид + фунгицид + инсектицид) применялось на всех трёх уровнях. При достижении фазы выхода в трубку к стандартному набору добавлялся ретардант (интенсивный и высокоинтенсивный фон), а защита генеративных органов в фазу колошения осуществлялась только при максимальной интенсификации.

Размер опытных участков включал общую площадь 72 м^2 при соотношении ширины к длине 4×18 м, тогда как непосредственный учёт урожая проводился на площади 56 м^2 (4×14 м). Статистическая надёжность экспериментальных данных обеспечивалась трёхкратной повторностью, а пространственная дифференциация вариантов организована по схеме систематического размещения делянок.

Техническое обеспечение агротехнических операций базировалось на использовании современных машинно-тракторных агрегатов. Распределение минеральных удобрений выполнялось центробежным разбрасывателем Kverneland Exacta CL, а фитосанитарные обработки вегетирующих посевов осуществлялись штанговым опрыскивателем Kverneland iXter B. Формирование оптимальной густоты стояния растений обеспечивалось сеялкой Amazone D9-4000 при регламентированной норме высева 5,0 млн всхожих зерен на гектар. Завершающий этап производственного цикла – уборка урожая – реализовывался методом прямого комбайнирования с применением зерноуборочной машины Sampo Rosenlew SR 2010.

Анализ вариационных рядов и оценка достоверности межгрупповых различий осуществлялись в соответствии с методическим подходом Б. А. Доспехова (1985). Расчёт статистических параметров, включая дисперсионный комплекс и ошибки средних, выполнялся с использованием табличного процессора Microsoft Excel [19, 20].

Результаты и обсуждение. Анализ продукционных показателей осуществлялся на основе многолетних данных: для сортов озимой пшеницы репрезентативный период охватывал 2017-2025 гг., для тритикале – 2016-2025 гг. Межгодовая динамика урожайности продемонстрировала выраженную зависимость от гидротермической конъюнктуры вегетационных сезонов, что обусловило существенную вариабельность реализованного биопотенциала культур. В рамках девятилетнего мониторинга пшеничные сорта не достигали целевых ориентиров на базовом (< 5 т/га) и интенсивном (< 6 т/га) агротехнических фонах в двух случаях, тогда как на высокоинтенсивном уровне (> 10 т/га) недобор фиксировался значительно чаще: семь сезонов для Московской 40 и шесть – для Немчиновской 85 (рисунок 1).

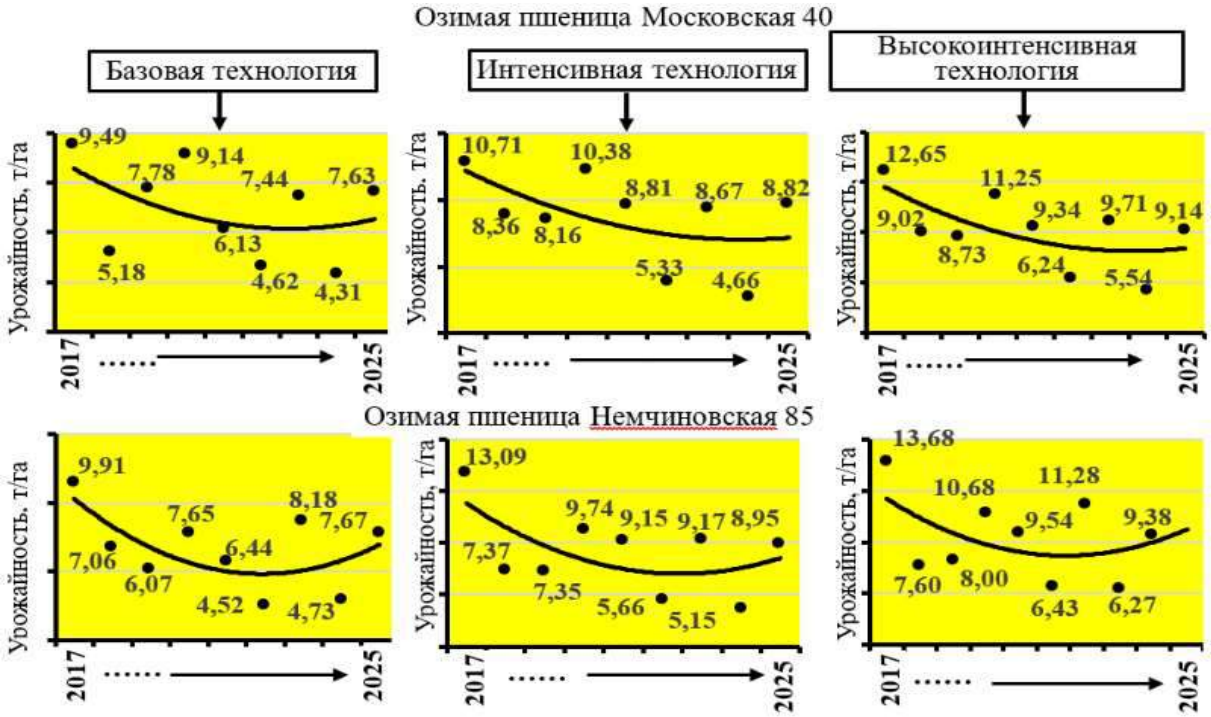


Рисунок 1 – Варьирование урожайности озимой пшеницы при соблюдении технологий возделывания в разные годы (2017-2025 гг.)

Figure 1 – Variation in winter wheat yield under the cultivation technologies in the different years (2017-2025)

Пиковые значения продуктивности зафиксированы в стартовый год исследований (2017 г.) при реализации высокоинтенсивного регламента: 12,65 т/га для Московской 40 и 13,68 т/га для Немчиновской 85, что свидетельствует о высоком, но метеозависимом потенциале данных сортов.

Интегральный анализ десятилетнего мониторинга продуктивности озимой тритикале выявил сортоспецифические особенности реализации урожайного потенциала. Сорт Нина на базовом агротехническом фоне не достигал плановых показателей в двух вегетационных сезонах, что коррелирует с динамикой пшеничных сортов, тогда как на интенсивном уровне отклонение от целевых значений зафиксировано лишь однократно. Принципиально иную картину продемонстрировал Немчиновский 56: при возделывании по базовой и интенсивной технологиям данный сорт обеспечивал выполнение или превышение запланированных нормативов на протяжении всего периода наблюдений (рисунок 2).

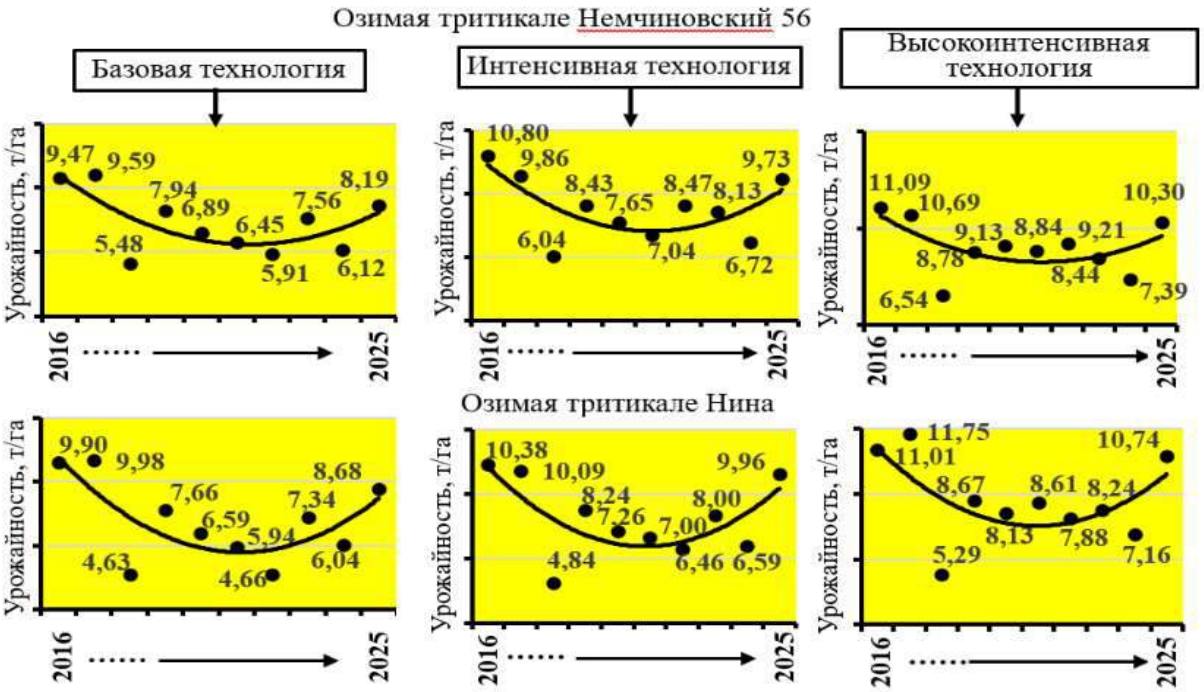


Рисунок 2 – Варьирование урожайности озимой тритикале при соблюдении технологий возделывания в разные годы (2016-2025 гг.)

Figure 2 – Variation in winter triticale yield under the cultivation technologies in the different years (2016-2025)

Переход к высокоинтенсивному регламенту позволил обоим сортам тритикале сформировать урожайность свыше 10 т/га в трёх сезонах. Примечательно, что даже на интенсивном фоне пороговое значение 10 т/га преодолевалось: дважды у сорта Нина и однократно у сорта Немчиновский 56. Абсолютные рекорды продуктивности зарегистрированы в 2017 г. при реализации максимального агротехнического обеспечения: 11,75 т/га для Нины и 11,09 т/га для сорта Немчиновский 56, что подтверждает высокую отзывчивость данных сортов на интенсификацию минерального питания при благоприятной гидротермической конъюнктуре.

Анализ интервала варьирования продуктивности позволил количественно оценить степень адаптивной пластичности исследуемых сортов. Дельта между максимальными и минимальными значениями урожайности выступает одновременно маркером отзывчивости культуры на оптимизацию агрофона и прогностическим критерием производственных рисков в стрессовые сезоны. Экстремальная вариабельность зафиксирована у озимой пшеницы Немчиновская 85 на высокоинтенсивном уровне: разброс показателей достиг 7,43 т/га (диапазон 6,27-13,7 т/га). Подобная динамика свидетельствует о высокой лабильности сорта, который при совпадении оптимальной технологии и благоприятных погодных условий реализует рекордный биопотенциал, однако в неблагоприятные вегетационные периоды редуцирует продуктивность до значений, характерных для базового земледелия. В контрасте с этим, озимая тритикале Немчиновский 56 продемонстрировала минимальную амплитуду колебаний – 4,12 т/га на базовом и 4,56 т/га на высокоинтенсивном фоне (таблица 1). Указанный параметр подтверждает фенотипическую стабильность сорта и его низкую реактивность к флюктуациям агрометеорологических условий, что гарантирует предсказуемость результативности независимо от степени агротехнической нагрузки.

Аналитические показатели вариационного ряда, в частности величина стандартного отклонения (σ), полностью коррелируют с установленной сортовой дифференциацией. Для озимой тритикале Немчиновский 56 зафиксированы наименьшие значения параметра рассеивания, варьирующие в интервале 1,34-1,43 независимо от уровня агротехнического обеспечения. Минимальный показатель (σ = 1,34) зарегистрирован при реализации высокоинтенсивного режима, что прямо свидетельствует о выраженном гомеостазе продуктивности: сорт эффективно компенсирует влияние как абиотических стрессоров, так и вариа-

тивности технологических операций. В противоположность этому, озимая пшеница Немчиновская 85 продемонстрировала пиковые величины стандартного отклонения на интенсивном (2,25) и высокоинтенсивном (2,29) фонах. Подобный уровень дисперсии указывает на высокую стохастичность продукционного процесса, где формирование урожая в значительной степени детерминировано неуправляемыми внешними факторами, а не строгостью агротехнических регламентов.

Таблица 1 – Параметры урожайности и вариабельности сортов озимых культур при различных уровнях интенсификации
Table 1 – Yield parameters and variability of winter crop varieties at different levels of intensification

Сорт / Variety	Технология / Technology	Урожайность, т/га / Yield, t/ha			Среднеквадратичное отклонение, σ / RMS deviation, σ	Коэффициент вариации, V % / Coefficient of variation, V %
		max	min	$\bar{x}$ за все годы / for all the years		
Озимая пшеница / Winter wheat						
Московская 40 / Moskovskaya 40	Б	9,49	4,31	6,86	1,79	28
	И	10,71	4,66	8,21	1,91	25
	В	12,65	5,54	9,07	2,07	24
Немчиновская 85 / Nemtchinovskaya 85	Б	9,91	4,52	6,91	1,60	25
	И	13,09	5,15	8,40	2,25	28
	В	13,68	6,27	9,20	2,29	26
Озимая тритикале / Winter triticale						
Немчиновский 56 / Nemtchinovskiy 56	Б	9,59	5,48	7,36	1,37	20
	И	10,80	6,04	8,29	1,43	18
	В	11,09	6,54	9,04	1,34	16
Нина / Nina	Б	9,98	4,66	8,26	1,84	27
	И	10,38	4,84	7,88	1,72	23
	В	11,75	5,29	8,75	1,84	22

Примечание: Б – базовая технология; И – интенсивная; В – высокоинтенсивная.
Note: B – basic technology; I – intensive; V – highly intensive.

В качестве интегрального критерия относительной изменчивости выступал коэффициент вариации (V), обеспечивающий объективное межсортовое сопоставление независимо от абсолютных уровней продуктивности. Согласно устоявшейся градации, значения до 10 % характеризуют минимальную дисперсию (эталонная стабильность), диапазон 10-20 % отражает умеренную вариабельность, а показатели свыше 20 % свидетельствуют о высокой неоднородности признака. Минимальная относительная изменчивость (V = 16 %) зафиксирована у озимой тритикале Немчиновский 56 при высокоинтенсивном возделывании, что для полевых культур интерпретируется как признак выраженного гомеостаза продукционного процесса и минимизации влияния стохастических факторов. На альтернативных технологических фонах параметр сохранялся в пределах умеренного коридора (18-20 %). В противоположность этому, пшеничные сорта Немчиновская 85 (25-28 %) и Московская 40 (24-28 %) продемонстрировали высокую степень вариабельности, что подтверждает их выраженную метеозависимость и существенные межгодовые колебания урожайности даже при реализации максимального агротехнического потенциала.

Анализ интегральных показателей подтверждает, что сорт озимой тритикале Немчиновский 56 обладает выраженным преимуществом в параметре продуктивной стабильности при варьировании эколого-технологических условий. На фоне максимального агрохимического обеспечения данный сорт обеспечивает формирование урожая на уровне 9 т/га, сопровождающееся минимальным коэффициентом вариации (V = 16 %). В противоположность этому, исследуемые сорта озимой пшеницы, несмотря на способность приближаться к потенциальной продуктивности (12,7-13,7 т/га) в идентичных условиях, характеризуются высокой степенью дисперсии (V = 24-28 %). Полная реализация их урожайного потенциала жёстко детерминирована неукоснительным соблюдением агротехнических регламентов и благоприятной гидрометеорологической конъюнктурой; при отклонении от оптимального сценария продуктивность неизбежно редуцируется до показателей, характерных для базового уровня возделывания.

Дифференцированный анализ влияния степени технологической нагрузки на качественные параметры зерна систематизирован в таблице 2. Оценка технологических характеристик выявила устойчивое доминирование сортов озимой пшеницы по показателю натуры зерна на всех исследуемых агрофонах. Пиковые значения для пшеницы зафиксированы на уровне 822 г/л (сорт Немчиновская 85), тогда как для озимой тритикале предельный показатель составил 786 г/л (сорт Нина при интенсивном режиме возделывания). Примечательно, что пшеничные сорта демонстрируют высокую консервативность признака с минимальной флуктуацией при изменении агротехнических регламентов. В отличие от них, озимая тритикале характеризуется выраженной пластичностью, формируя существенный прирост натурной массы в ответ на повышение уровня агрохимического обеспечения и фитосанитарной защиты.

Таблица 2 – Качество зерна, муки озимой мягкой пшеницы и озимой тритикале
Table 2 – Quality of grain, flour of winter soft wheat and winter triticale

Сорт / Variety	Технология / Technology	Натура зерна, г/л / Grain nature, g/l	Стекловидность, % / Glassiness, %	Клейковина в муке, % / Gluten in flour, %	Качество клейковины, ед. шк. ИДК / Gluten quality, IDK units	Объёмный выход хлеба, $см^3$ / Volume yield of bread, cm^3
Озимая пшеница / Winter wheat						
Московская 40 / Moskovskaya 40	Б	798	59	39,8	92	802
	И	793	69	44,5	93	918
	В	798	75	48,6	98	877
Немчиновская 85 / Nemtchinovskaya 85	Б	822	60	39,0	91	883
	И	822	79	44,3	97	804
	В	816	68	48,6	100	901
Озимая тритикале / Winter triticale						
Немчиновский 56 / Nemtchinovskiy 56	Б	749	38	24,8	102	569
	И	769	51	31,2	104	572
	В	772	59	32,8	95	577
Нина / Nina	Б	746	45	28,0	107	503
	И	786	53	33,6	108	502
	В	763	55	36,8	110	506

Примечание: Б – базовая технология; И – интенсивная; В – высокоинтенсивная.
Note: B – basic technology; I – intensive; V – highly intensive.

Оценка структурных характеристик эндосперма выявила выраженную межвидовую дифференциацию по показателю стекловидности. Сорта озимой пшеницы стабильно доминировали по данному признаку, формируя диапазон значений 59-79 %. Пиковые показатели зафиксированы для сорта Немчиновская 85 при реализации интенсивного агротехнического регламента. В противоположность этому, озимая тритикале характеризовалась сниженными параметрами (38-59 %), при этом предельный уровень (59 %) достигнут сортом Немчиновский 56 на высокоинтенсивном фоне, что полностью эквивалентно базовым значениям пшеницы. Несмотря на абсолютное количественное расхождение, обе культуры продемонстрировали однозначную позитивную динамику: наращивание технологической нагрузки закономерно стимулировало формирование более плотного и стекловидного зерна, подтверждая высокую отзывчивость физиолого-биохимических процессов на оптимизацию агрофона.

Наиболее контрастная межвидовая дифференциация прослеживается по уровню накопления сырой клейковины. Сорта озимой пшеницы стабильно формируют существенно более высокую концентрацию данного компонента, варьирующую в пределах 39,0-48,6 %, тогда как у озимой тритикале соответствующие значения удерживаются в диапазоне 24,8-36,8 %. Пиковые показатели для обеих культур приурочены к высокоинтенсивному агротехническому регламенту, достигая 48,6 % и 36,8 % соответственно. Примечательно, что тритикале демонстрирует значительно более высокую отзывчивость на начальную ступень интенсификации: переход от базового к интенсивному технологическому уровню сопровождается у неё более выраженным кумулятивным приростом клейковинной массы по сравнению с пшеничными аналогами.

Реологический профиль клейковинного комплекса, верифицируемый посредством измерения индекса деформации (ИДК), демонстрирует выраженную межвидовую дифференциацию. Пшеничные сорта стабильно формируют белковый матрикс, соответствующий I-II технологическим группам: измеренные значения укладываются в оптимальный диапазон 91-100 ед., что полностью удовлетворяет нормативным требованиям мукомольно-хлебопекарной отрасли. В контрасте с этим, тритикале характеризуется формированием более ослабленной по упруго-эластичным свойствам клейковины, где индекс варьирует в пределах 95-110 ед. Тем не менее, при реализации высокоинтенсивного агрофона сорт Немчиновский 56 достигает минимального значения показателя (95 ед.), свидетельствующего о наиболее сбалансированном качестве в данной культуре. Этот результат минимизирует межвидовой разрыв и подтверждает возможность получения сырья, сопоставимого по реологическим параметрам с традиционными пшеничными аналогами.

Наиболее выраженная межвидовая диспропорция зафиксирована в параметрах хлебопекарной оценки, ключевым индикатором которой выступает удельный объем выпеченного хлеба. Пшеничные сорта обеспечивают формирование продукции в диапазоне 802-918 см^3, тогда как тритикале формирует существенно более компактную структуру, уступая по данному критерию в 1,5-1,6 раза (интервал 502-577 см^3). Пиковая реализация потенциала озимой пшеницы (918 см^3) достигнута сортом Московская 40 при интенсивном технологическом режиме. Для тритикале абсолютный максимум (577 см^3) зарегистрирован у сорта Немчиновский 56 в условиях высокоинтенсивного возделывания, что подтверждает жесткую детерминированность данного показателя уровнем агротехнического обеспечения и генетическими особенностями культуры.

Интегральный анализ подтверждает, что исследуемые сорта озимой пшеницы формируют сырьевую базу с высокими технологическими параметрами, полностью соответствующую нормативным критериям продовольственного стандарта. Озимая тритикале, несмотря на объективное отставание по ключевым реологическим метрикам, сохраняет выраженный потенциал для мукомольно-кондитерского сектора. Специфика её клейковинного комплекса, отличающегося пониженной упруго-эластичной прочностью, предопределяет целесообразность использования данной культуры в производстве мучных кондитерских изделий и специализированного хлебопечения. В рамках изученного сортокомплекса сорт Немчиновский 56 демонстрирует оптимальный баланс качественных характеристик: стекловидность эндосперма достигает 59 %, индекс деформации клейковины стабилизируется на отметке 95 ед., а удельный объём выпеченного хлеба составляет 577 см^3. Указанный технологический профиль обосновывает целевое внедрение данного сорта в ассортиментный ряд кондитерской продукции, а также в сегмент диетического и функционального питания, где требуется умеренная структурная плотность готовых изделий.

Выводы. Совокупность эмпирических данных обосновывает пересмотр устоявшейся парадигмы восприятия озимой тритикале, исторически закрепленной исключительно в сегменте кормопроизводства. Сорт Немчиновский 56 демонстрирует выраженный продукционный гомеостаз, гарантируя экономическую предсказуемость в стрессовые вегетационные сезоны, тогда как высокопотенциальные пшеничные сорта остаются критически уязвимыми к флуктуациям агрометеорологических условий. Верифицированные качественные характеристики зерна данной культуры нивелируют стереотип о её технологической второсортности: специфическая реология клейковинного комплекса, традиционно рассматриваемая как лимитирующий фактор для массового хлебопечения, трансформируется в конкурентное преимущество при формировании нишевой сырьевой базы для кондитерской и диетической индустрии. В стратегическом плане тритикале эволюционирует из статуса резервной «страховой» культуры в комплементарный компонент зернового клина. Её системная интеграция в региональные севообороты выступает действенным инструментом диверсификации производственных рисков, позволяя сглаживать волатильность урожаев климатически чувствительных пшеничных сортов и обеспечивать устойчивую сырьевую платформу для перерабатывающей отрасли в условиях нарастающей климатической нестабильности.

Conclusions. The totality of empirical data justifies a revision of the established paradigm of perception of winter triticale, historically fixed exclusively in the forage production segment. The Nemchinovsky 56 genotype demonstrates pronounced production homeostasis, ensuring economic predictability during stressful growing seasons, while high-potential wheat lines remain critically vulnerable to fluctuations in agrometeorological conditions. The verified quality characteristics of this crop's grain negate the stereotype of its technological inferiority: the specific rheology of the gluten complex, traditionally considered a limiting

factor for mass baking, is transformed into a competitive advantage in the formation of a niche raw material base for the confectionery and dietary industries. Strategically, triticale is evolving from its status as a reserve “insurance” crop to a complementary component of the grain wedge. Its systemic integration into regional crop rotations serves as an effective tool for diversifying production risks, smoothing out yield volatility for climate-sensitive wheat genotypes and providing a stable raw material platform for the processing industry in the face of increasing climate instability.

Библиографический список

1. Беляев И. В., Петров Н. Ю., Ряднов А. И. Зависимость урожайности озимой пшеницы от агротехнических приемов в условиях Волгоградского региона. Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий: материалы Национальной научно-практической конференции. Волгоград, 2025. С. 235-239.

2. Зеленев А. В., Семинченко Е. В. Засоренность посевов озимой пшеницы в зависимости от севооборота. Агроэкология, мелиорация и защитное лесоразведение: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград, 2018. С. 484-488.

3. Плескачев Ю. Н., Пузырев М. С., Киричкова И. В. и др. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от норм и регуляторов роста. Проблемы развития АПК региона. 2025. № 1 (61). С. 113-117.

4. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Кузнецова Е. А. и др. Минеральное питание в вопросах роста урожайности озимой пшеницы на юге России. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4 (82). С. 13-20.

5. Гузенко А. В., Солонкин А. В. Влияние листовых подкормок на урожайность и качество Triticum aestivum L. В условиях каштановых почв Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 229-237.

6. Лихолетов Е. А., Бочарников В. С., Бочарникова О. В. и др. Анализ влияния различных способов основной обработки почвы и доз внесения удобрений на урожайность озимой пшеницы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 139-146.

7. Солодовников А. П., Максимчук В. Н. Эффективность чистого пара как предшественника озимой пшеницы в Поволжье. Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: материалы VII Международной студенческой научной конференции. Майский, 2025. С. 165-166.

8. Воронов С. И., Капранов В. Н., Зеленев А. В. и др. Агроэкономическая эффективность технологий возделывания озимой пшеницы при различных уровнях интенсификации. Селекция и семеноводство: новые вызовы и возможности, устойчивое развитие и продовольственная безопасность: материалы V Международной научной конференции. Москва, 2025. С. 200-207.

9. Егоров Н. М., Шкурина В. А. Роль приемов основной обработки в повышении запасов продуктивной влаги и урожайности сортов озимой пшеницы на каштановых почвах Волгоградской области. Наука и молодёжь: новые идеи и решения: материалы XV Международной научно-практической конференции молодых исследователей. Волгоград, 2021. С. 347-351.

10. Сапунков В. Л., Подгорный С. В. Влияние удобрений на урожайность и качество сортов озимой мягкой пшеницы в засушливой зоне каштановых почвах Волгоградской области. Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 3. С. 77-83.

11. Тареев И. А., Воловатов А. С. Основная обработка темно-каштановых почв и сорта озимой пшеницы в Ростовской области. Наука и молодежь: новые идеи и решения: материалы XII Международной научно-практической конференции молодых исследователей. Волгоград, 2018. С. 392-394.

12. Петрова Е. Н., Данилова М. А. Сравнительная оценка стабильности продуктивности озимой пшеницы и тритикале в условиях изменчивого климата. Известия ТСХА. 2022. № 2. С. 45-56.

13. Miedaner T., Korzun V. Breeding triticale for improved grain quality and food use: current status and future perspectives. Theoretical and Applied Genetics. 2021. No 134. Pp. 3215-3230.

14. Барри М., Пакина Е. Н., Зеленев А. В. и др. Эффективность применения фунгицидов в технологиях разного уровня интенсивности при возделывании сортов озимой тритикале в Центральном Нечерноземье. Аграрная Россия. 2025. № 7. С. 39-44.

15. Коваленко В. И., Сидоров А. В. Урожайность и качество зерна озимой тритикале в зависимости от уровня интенсификации возделывания в Центральном регионе. Земледелие. 2021. № 4. С. 28-33.

16. Шпилев Н. С., Лебедько Л. В., Горбачев К. И. Оптимизация агротехники тритикале сорта Форте для достижения программируемой урожайности. Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 4. С. 41-46.

17. Stojanovski V. et al. Yield stability and agronomic performance of winter triticale compared to winter wheat under contrasting climatic conditions in Central Europe. Agronomy. 2021. No 11 (4). Art. 678.

18. Goyal M. et al. Grain quality and baking potential of triticale: A comprehensive review on gluten properties and food applications. Journal of Cereal Science. 2022. No 105. Art. 103456.

19. Смирнов Д. А., Кузнецова О. Л. Влияние систем удобрений и защиты растений на формирование урожая и качество зерна озимых зерновых культур. Достижения науки и техники АПК. 2023. № 5. С. 18-24.

20. Kucewicz D. et al. Response of winter triticale and wheat to intensification of cultivation technology: yield, quality, and economic efficiency. European Journal of Agronomy. 2020. No 118. Art. 126098.

References

1. Belyaev I. V., Petrov N. Yu., Ryadnov A. I. Dependence of winter wheat yield on agricultural technical practices in the Volgograd region. Scientific substantiation of the strategy for digital development of the agro-industrial complex and rural areas: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2025. Pp. 235-239.

2. Zelenev A. V., Seminchenko E. V. Weed infestation of winter wheat crops depending on crop rotation. Agroecology, melioration and protective afforestation: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2018. Pp. 484-488.

3. Pleskachev Yu. N., Puzyrev M. S., Kirichkova I. V., et al. Winter wheat yield depending on rates and growth regulators. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2025. No 1 (61). Pp. 113-117.

4. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Kuznetsova E. A., et al. Mineral nutrition in matters of increasing winter wheat yield in the south of Russia. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 4 (82). Pp. 13-20.

5. Guzenko A. V., Solonkin A. V. Effect of foliar feeding on the yield and quality of Triticum aestivum L. Under conditions of chestnut soils of the Volgograd region. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 5 (83). Pp. 229-237.

6. Likholetov E. A., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V., et al. Analysis of the influence of various methods of primary soil cultivation and fertilizer application rates on the yield of winter wheat. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 5 (83). Pp. 139-146.

7. Solodovnikov A. P., Maksimchuk V. N. Efficiency of clean fallow as a precursor of winter wheat in the Volga region. Gorin's readings. Innovative solutions for the agro-industrial complex: Proceedings of the VII International student scientific conference. Maysky, 2025. Pp. 165-166.

8. Voronov S. I., Kapranov V. N., Zelenev A. V., et al. Agroeconomic efficiency of winter wheat cultivation technologies at different levels of intensification. Breeding and seed production: new challenges and opportunities, sustainable development and food security: Proceedings of the V International Scientific Conference. Moscow, 2025. Pp. 200-207.

9. Egorov N. M., Shkurina V. A. The Role of Primary Cultivation Techniques in Increasing Productive Moisture Reserves and Yields of Winter Wheat Varieties on Chestnut Soils of the Volgograd Region. Science and Youth: New Ideas and Solutions: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference of Young Researchers. Volgograd, 2021. Pp. 347-351.

10. Sapunkov V. L., Podgorny S. V. Effect of fertilizers on the yield and quality of winter soft wheat varieties in the arid zone of chestnut soils of the Volgograd region. Grain Economy of Russia. 2025. V. 17. No 3. Pp. 77-83.

11. Tareev I. A., Volovatov A. S. Primary cultivation of dark chestnut soils and winter wheat varieties in the Rostov region. Science and youth: new ideas and solutions: Proceedings of the XII International scientific and practical conference of young researchers. Volgograd, 2018. Pp. 392-394.

12. Petrova E. N., Danilova M. A. Comparative assessment of the stability of productivity of winter wheat and triticale in conditions of a variable climate. Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy. 2022. No 2. Pp. 45-56.

13. Miedaner T., Korzun V. Breeding triticale for improved grain quality and food use: current status and future perspectives. Theoretical and Applied Genetics. 2021. No 134. Pp. 3215-3230.

14. Barry M., Pakina E. N., Zelenev A. V. et al. Efficiency of fungicide application in technologies of different intensity levels during cultivation of winter triticale varieties in the Central Non-Black Earth Region. Agricultural Russia. 2025. No 7. Pp. 39-44.

15. Kovalenko V. I., Sidorov A. V. Yield and grain quality of winter triticale depending on the level of cultivation intensification in the Central region. Agriculture. 2021. No 4. Pp. 28-33.

16. Shpilev N. S., Lebedko L. V., Gorbachev K. I. Optimization of agricultural technology of triticale variety Forte to achieve programmable yield. Grain Economy of Russia. 2025. V. 17. No 4. Pp. 41-46.

17. Stojanovski V. et al. Yield stability and agronomic performance of winter triticale compared to winter wheat under contrasting climatic conditions in Central Europe. Agronomy. 2021. No 11 (4). Art. 678.

18. Goyal M. et al. Grain quality and baking potential of triticale: A comprehensive review on gluten properties and food applications. Journal of Cereal Science. 2022. No 105. Art. 103456.

19. Smirnov D. A., Kuznetsova O. L. Influence of fertilizer and plant protection systems on yield formation and grain quality of winter grain crops. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2023. No 5. Pp. 18-24.

20. Kucewicz D. et al. Response of winter triticale and wheat to intensification of cultivation technology: yield, quality, and economic efficiency. European Journal of Agronomy. 2020. No 118. Art. 126098.

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

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

Киселёв Евгений Фёдорович, 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: papa-john-k@yandex.ru

Зеленев Александр Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Департамент аграрно-технологического института, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2); главный научный сотрудник лаборатории, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (Российская Федерация, 121205, г. Москва, территория Инновационного центра Сколково, бульвар Большой, 30, строение 1, офис 304), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9351-9922, e-mail: zelenev.a@bk.ru

Кузьмич Михаил Александрович, 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/0000-0002-6646-5760, e-mail: m-kuzmich@yandex.ru

Гармаш Нина Юрьевна, доктор биологических 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/0000-0002-6384-0969, e-mail: sovetdis@list.ru

Authors' Information

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

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

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

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

Kuzmich Mikhail Alexandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30/1, office 304), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6646-5760, e-mail: m-kuzmich@yandex.ru

Garmash Nina Yuryevna, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center "Nemchinovka" (Russian Federation, 121205, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoi Boulevard, 30/1, office 304), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6384-0969, e-mail: sovetdis@list.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-09

THE SOWING DATES AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES USAGE IMPACT ON THE WINTER CAMELINA (CAMELINA SATIVA) YIELD ON THE BLACK SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION

Medvedev G. A., Ekaterinicheva N. G., Semenova E. S.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: medwedevga@yandex.ru

Received 12.03.2026 Submitted 10.06.2026

Summary

This article presents the results of a three year observation study on the yield formation of winter camelina (Camelina sativa) under three different sowing dates with presowing seed treatment using plant growth regulators in the black soil zone of the Volgograd Region.

Abstract

Introduction. Winter camelina (Camelina sativa) is a promising new oilseed crop for the Volgograd Region. Developing agricultural technical practices that enhance its yield is a highly relevant and timely task. A key element of winter camelina cultivation technology is selecting the optimal sowing date and applying modern plant growth regulators under the specific conditions of the black soil zone in the Volgograd Region. This was the main objective of our research. The study focused on three sowing dates for winter camelina: August 25; September 5; September 15. Two plant growth and development regulators were also tested: Epin; Akvarin. **Materials and methods.** A two factor field experiment was conducted in the black soil zone of the Alekseevsky District, Volgograd Region, from 2020 to 2022. The study followed the methodologies of B. A. Dospekhov (1985) and V. M. Lukomets (2010). The preceding crop was winter wheat grown after fertilized fallow. The experiment had a threefold repetition; the accounting plot area was 72 m^2. **Results and conclusions.** Observations of the growth and development of the winter camelina variety Penzyak on black soils in the Volgograd Region showed that weather conditions during the study period significantly affected: field germination; the wintering process of plants; photosynthetic parameters; the yield of winter camelina across all sowing dates. On average over the three year period, the highest yields were achieved with the second sowing date. Second sowing date: winter camelina yield averaged from 1,83 to 2,10 t/ha over three years. First sowing date: yield varied from 1,57 to 1,81 t/ha. Third sowing date: yields were even lower, ranging from 1,53 to 1,80 t/ha across the variants. Among the plant growth and development regulators, Akvarin proved to be the most effective: At the first sowing date, presowing seed treatment with Akvarin increased seed yield by 0,24 t/ha. At the second sowing date, the increase was 0,27 t/ha. At the third sowing date, the yield also increased by 0,27 t/ha. The use of the Epin preparation was also quite effective, though slightly less so than Akvarin. The profitability level for the variant with seed treatment using Akvarin averaged 186,7 % over three years, which is: 33,9 % higher than at the first sowing date; 35,2 % higher than at the third sowing date.

Keywords: *winter camelina, winter camelina sowing dates, plant growth regulators, winter camelina yield, oilseed cultivation economic efficiency.*

Citation. Medvedev G. A., Ekaterinicheva N. G., Semenova E. S. The sowing dates and biologically active substances usage impact on the winter camelina (Camelina sativa) yield on the black soils of the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 90-98 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-09.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' Contribution. All authors of the present study were directly involved in planning, conducting, or analyzing the obtained data. All authors of this article have read and approved the final submitted version.
Conflict of Interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 633.853.483

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА УРОЖАЙНОСТЬ РЫЖИКА ОЗИМОГО НА ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Медведев Г. А., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Екатериничева Н. Г., *кандидат экономических наук, доцент*
Семенова Е. С., *кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Рыжик озимый – новая перспективная масличная культура для Волгоградской области. Разработка приемов агротехники, способствующих повышению его урожайности, – задача вполне актуальная и своевременная. Важным элементом технологии рыжика озимого является подбор оптимального срока посева и применение современных регуляторов роста и развития растений в конкретных условиях зоны черноземных почв Волгоградской области. Это и являлось основной задачей наших исследований. В качестве объекта исследования были взяты три срока посева рыжика озимого: 1 – 25 августа, 2 – 5 сентября, 3 – 15 сентября и два регулятора роста и развития растений: «Эпин», «Акварин». **Материалы и методы.** Двухфакторный полевой опыт закладывали в зоне черноземных почв в Алексеевском районе Волгоградской области в 2020-2022 гг. по методике Б. А. Доспехова (1985) и В. М. Лукомец (2010). Предшественник – озимая пшеница, идущая по удобренному пару. Повторность в опыте трехкратная, учетная площадь делянки 72 м^2. **Результаты и выводы.** Наблюдения за ростом и развитием озимого рыжика сорта Пензяк на черноземных почвах Волгоградской области показали, что погодные условия в годы исследования существенно влияли на полевую всхожесть, процесс перезимовки растений, на фотосинтетические показатели и урожайность рыжика озимого на всех сроках посева. В среднем за три года наиболее высокие урожаи были сформированы на втором сроке посева. Урожайность рыжика озимого на этом сроке посева в среднем за три года колебалась от 1,83 до 2,10 т/га, тогда как на первом сроке посева она изменялась от 1,57-1,81 т/га. На третьем сроке посева урожайность рыжика была еще меньше и колебалась по вариантам от 1,53 до 1,80 т/га. Из регуляторов роста и развития растений наиболее эффективным оказался «Акварин». На первом сроке посева предпосевная обработка семян препаратом «Акварин» повышала урожайность семян на 0,24 т/га, на втором сроке посева – на 0,27 т/га и на третьем сроке посева на – 0,27 т/га. Применение препарата «Эпин» также было достаточно эффективным, но несколько меньшим, чем от препарата «Акварин». Уровень рентабельности на варианте с обработкой семян препаратом «Акварин» в среднем за три года был наивысшим – 186,7 %, что на 33,9 % больше, чем на первом сроке посева, и на 35,2 % больше, чем на третьем сроке посева.

Ключевые слова: *рыжик озимый, сроки посева рыжика озимого, регуляторы роста растений, урожайность рыжика озимого, экономическая эффективность возделывания масличных культур.*

Цитирование. Медведев Г. А., Екатериничева Н. Г., Семенова Е. С. Влияние сроков посева и биологически активных веществ на урожайность рыжика озимого на черноземных почвах Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 90-98. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-09.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе полученных данных. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В зоне черноземных почв Волгоградской области среди масличных культур первостепенное место занимает подсолнечник. Вместе с тем в последнее время в данной зоне появилась проблема перегруженности севооборотов этой популярной масличной культурой. Отметим, что если до перестройки в зоне черноземных почв подсолнеч-

ник ежегодно занимал 14-15 % посевных площадей в севообороте, то сейчас он занимает 20-25 %, а в определенных районах до 30 % площадей севооборота. В итоге это приводит к неблагоприятным последствиям. В данной связи перед сельхозпроизводителями в этой зоне появилась задача определения альтернативных высокорентабельных масличных культур для частичной замены подсолнечника. По мнению ряда исследователей, такой культурой может стать рыжик озимый [1, 2, 3]. Заинтересованность рыжиком озимым планомерно растет как в стране, так и в Нижневолжском регионе. В настоящий момент рыжик озимый в Российской Федерации ежегодно занимает 93-94 тыс. га. В этой необоснованно забытой культуре сочетаются, как достаточно высокая урожайность семян (до 2 т/га и более), так и их масличность (до 42 %). Рыжик озимый представляет собой высокоценную полевую культуру, обладающую достаточно высокой устойчивостью к сложным, а зачастую и экстремальным агроклиматическим условиям Волгоградской области. Данная культура обладает низкой требовательностью к плодородию и гранулометрическому составу почвы, а также характеризуется устойчивостью к почвенной и воздушной засухе, что имеет особую значимость для данного региона. Рыжик способен обеспечивать стабильную и прогнозируемую урожайность семян в разнообразных почвенно-климатических и погодных условиях, пригодных для ведения сельского хозяйства.

В свете вышеизложенного совершенствование агротехнологии возделывания рыжика озимого на черноземных почвах Волгоградской области является крайне актуальной задачей на сегодняшний день.

Материалы и методы. Двухфакторный полевой опыт закладывался в зоне черноземных почв Алексеевского района Волгоградской области в 2020-2022 гг. по методике Б. А. Доспехова (1985) и В. М. Лукомец (2010) по следующей схеме: фактор А – сроки посева: 1 – посев 25 августа, 2 – посев 5 сентября, 3 – посев 15 сентября. фактор В – регуляторы роста и развития растений: 1. Контроль без обработки. 2. «Эпин» – 20 мл/т семян. Расход рабочей жидкости – 10 л/т семян. 3. «Акварин» из расчета 80 мл на 1 тонну семян. Расход рабочей жидкости – 10 л/т семян. Предшественник – озимая пшеница. Высевали сорт Пензяк с нормой высева 7 млн/га всхожих семян, способ посева обычный рядовой. Повторность в опыте трехкратная, учетная площадь делянки 72 м^2.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что полевая всхожесть и общая выживаемость растений озимого рыжика находятся в прямой зависимости от сроков сева, а также от применения физиологически активных веществ (таблица 1).

Таблица 1 – Полевая всхожесть и сохранность растений к уборке рыжика озимого по вариантам опыта (среднее за 2020-2022 гг.)
Table 1 – Field germination and plant survival rate of winter camelina by experiment variant (average for 2020-2022)

Срок посева / Sowing time	Всходы, шт./м^2 / Seedlings, pcs./m^2	Полевая всхожесть,% / Field germination, %	Число растений весной, шт./м^2 / Number of plants in spring, pcs./m^2	Перезимовка, % / Overwintering, %	Число растений к уборке, шт./м^2 / Number of plants by harvest, pcs./m^2	Общая выживаемость, % / Total survival, %
Контроль (без обработки) / Control (without processing)						
1	525	75,0	399	76.1	391	74,5
2	577	78,2	452	78.4	448	77,6
3	491	70,2	379	77.2	385	75,4
Эпин / Epin						
1	561	80,2	440	78.4	450	78,2
2	585	83,5	479	81.9	471	80,5
3	547	78,2	439	80.2	433	77,6
Акварин / Akvarin						
1	582	83,2	479	79.1	462	77,7
2	597	85,3	519	87,0	512	85,8
3	564	80,5	459	85.1	452	83,7

Анализ данных таблицы 1 показывает, что применение регуляторов роста растений существенно повышает полевую всхожесть и сохранность озимого рыжика к уборке. Наибольший эффект отмечен при использовании препарата «Акварин» на втором сроке посева.

На контроле полевая всхожесть варьировала в диапазоне 70,2-78,2 %, тогда как при обработке «Акварином» она достигала 80,5-85,3 %. Регулятор «Эпин» также показал положительный результат, повысив всхожесть до 78,2-83,5 %. Наименьшие показатели всхожести зафиксированы на третьем сроке посева.

Влияние сроков посева на сохранность растений в период зимовки было незначительным (разница не превышала 1-2 %). Однако регуляторы роста оказали существенное влияние на перезимовку: количество сохранившихся растений на 1 м² увеличилось с 379-452 (контроль) до 439-479 («Эпин») и 459-519 («Акварин»).

Аналогичная зависимость прослеживается и в отношении общей выживаемости растений. Несмотря на засухоустойчивость культуры, урожайность озимого рыжика в годы исследований определялась запасами продуктивной влаги в почве и количеством выпавших осадков (таблица 2).

Таблица 2 – Водопотребление рыжика озимого в среднем по годам исследования
Table 2 – Average water consumption of winter camelina by year of study

Показатель / Indicator	Год / Year			
	2020	2021	2022	Среднее за три года / Three year average
Количество продуктивной влаги в начале весеннего отрастания рыжика в слое 0,0-1,0 м, в мм. / The amount of productive moisture at the beginning of spring regrowth of camelina in the 0.0-1.0 m layer, in mm.	173,3	137,8	142,6	151,2
Количество продуктивной влаги перед уборкой рыжика в слое 0,0-1,0 м, в мм. / The amount of productive moisture before harvesting camelina in the 0.0-1.0 m layer, in mm.	27,8	15,2	25,3	22,7
Использовано влаги рыжиком из почвенных запасов, мм / The amount of moisture used by camelina from soil reserves, mm	145,5	122,6	117,3	128,5
Количество осадков за вегетацию рыжика, мм / The amount of precipitation during the vegetation of camelina, mm	254,6	181,8	235,9	214,1
Суммарное водопотребление рыжика, мм / The total water consumption of camelina, mm	400,1	304,4	353,2	342,6
Урожайность рыжика т/га / The yield of camelina, t/ha	2,25	1,93	2,13	2,10
Коэффициент водопотребления, мм на 1 т семян / Water consumption coefficient, mm per 1 ton of seeds	177,7	152,2	165,8	163,2

Как следует из данных таблицы 2, годы проведения эксперимента существенно различались по обеспеченности влагой. Наиболее благоприятным для возделывания озимого рыжика был 2020 год, а наименее благоприятным – 2021 год.

В частности, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на момент весеннего отрастания культуры в 2020 году достигали 173,3 мм, что было на 35,5 мм выше показателя самого засушливого года (2021 г.) и на 30,7 мм выше данных за 2022 год. Аналогичная тенденция наблюдалась и по количеству осадков за период вегетации: в 2020 году их выпало 254,6 мм, что на 72,8 мм превысило показатель 2021 года.

Согласно полученным данным, 2020 год также отличался наиболее высокими показателями суммарного водопотребления. Установлено, что вариативность данного параметра по годам исследования оказала существенное влияние на фотосинтетические процессы в растениях. Наибольший интерес в этой связи представляют показатели площади листового аппарата. Динамика его формирования является объективным критерием оценки соответствия условий вегетации биологическим особенностям культуры. Большая площадь листьев и интенсивный рост листовой массы свидетельствуют о наличии оптимальных условий для реализации потенциала роста и развития растений [6, 11]. Это подтверждают наши исследования (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика формирования площади листьев рыжика озимого, в среднем за 2020-2022 гг., тыс. м^2/га
Table 3 – Dynamics of the formation of the area of winter camelina leaves, on average for 2020-2022, thousand m^2/ha

Срок посева / Sowing time	Регулятор роста / Plant growth regulator	Фаза развития растений / The plant development phase				
		розетка / rosette	бутонизация / budding	цветение / flowering	Формирование семян / seed formation	полная спелость / full maturity
1	Контроль / Control	8,29	20,18	22,27	19,17	13,23
	Эпин / Epin	8,48	20,89	22,56	20,14	13,91
	Акварин / Akvarin	8,56	21,26	22,83	20,95	14,44
2	Контроль / Control	8,45	20,71	22,59	21,87	13,83
	Эпин / Epin	8,65	21,78	23,34	22,46	14,30
	Акварин / Akvarin	8,96	22,27	25,25	23,35	16,91
3	Контроль / Control	8,31	19,97	22,11	19,09	13,93
	Эпин / Epin	8,46	20,03	22,29	20,12	14,09
	Акварин / Akvarin	8,5 4	20,90	22,54	20,93	15,37

Как следует из представленных в таблице 3 данных, динамика формирования листового аппарата озимого рыжика находилась в прямой зависимости от сроков посева. Наиболее высокие показатели площади листьев во все фазы органогенеза были характерны для второго срока сева. Наименее благоприятным в этом отношении оказался третий срок. Первый срок посева демонстрировал промежуточные значения, уступая второму, но превосходя третий. Максимальное развитие листовой поверхности у растений на всех вариантах опыта наблюдалось в фазу цветения. Это отмечают и другие исследователи [2, 4, 5, 7]. Согласно представленным данным, в период максимального развития (фаза цветения) различия в площади ассимиляционной поверхности между вариантами опыта были несущественны и варьировали в диапазоне от 22,11 до 22,59 тыс. м²/га. В последующие фазы (формирование и налив семян) наблюдался закономерный регресс листового аппарата, к моменту полной спелости площадь листьев сокращалась в 1,5-2 раза. При этом установленные ранее закономерности по влиянию сроков посева сохраняли свою актуальность.

Вместе с тем следует подчеркнуть, что применение регуляторов роста оказывало более значительное влияние на формирование листовой поверхности, чем выбор агротехнического срока. Наиболее отзывчивым к обработке оказался третий срок посева. Так, на контрольном варианте максимальная площадь листьев составляла 22,59 тыс. м²/га, тогда как обработка «Эпином» увеличила её до 23,34 тыс. м²/га, а «Акварином» – до 25,25 тыс. м²/га. На остальных сроках эффект от применения препаратов также был положительным, но менее выраженным.

Отмеченные ранее преимущества естественным образом отразились и на структуре урожая, и на урожайности рыжика озимого (таблица 4).

Ключевым критерием оценки влияния агротехнических приёмов на продуктивность служит структура урожая. Для озимого рыжика, как и для других культур, она определяется такими показателями, как густота продуктивного стеблестоя и продуктивность отдельного растения [7, 8, 9].

Анализ данных таблицы 4 (в среднем за 2020-2022 гг.) показал, что по всем элементам структуры урожая лидировал второй срок посева. Первый срок уступал ему незначительно, в то время как третий демонстрировал более существенное отставание.

Анализ густоты стояния растений перед уборкой показал прямую зависимость этого показателя от сроков посева и применения регуляторов роста. Наибольшее количество продуктивных растений наблюдалось при втором сроке посева (в среднем от 448 до 512 шт./м²), тогда как на первом и третьем сроках эти значения были ниже (391-462 и 385-452 шт./м² соответственно).

Таблица 4 – Влияние изучаемых факторов на структуру урожая рыжика озимого в среднем за 2020-2022 гг.

Table 4 – Influence of the studied factors on the yield structure of winter camelina on average for 2020-2022

Срок посева / Sowing time	Регулятор роста / Plant growth regulator	Число растений перед уборкой, шт/м^2 / Number of plants before harvesting, pcs/m^2	Число стручочков на растении, шт. / Number of pods per plant, pcs.	Масса семян с растения, г / Weight of seeds per plant, g	Масса 1000 семян, г / Weight 1000 seeds, g	Биологическая урожайность, т/га / Biological yield, t/ha
1	Контроль / Control	391	110	0,41	0,87	1,62
	Эпин / Epin	450	112	0,40	0,88	1,74
	Акварин / Akvarin	462	115	0,41	0,89	1,87
2	Контроль / Control	448	112	0,42	0,91	1,88
	Эпин / Epin	471	117	0,43	0,93	2,03
	Акварин / Akvarin	512	121	0,42	0,95	2,15
3	Контроль / Control	385	107	0,38	0,85	1,58
	Эпин / Epin	433	110	0,38	0,87	1,72
	Акварин / Akvarin	452	112	0,40	0,88	1,85

Во всех случаях обработка препаратом «Акварин» обеспечивала наилучшую сохранность растений к уборке, а контрольный вариант – наименьшую. Разница между вторым и третьим сроками посева по максимальным показателям составила 63 растения на м². Влияние регулятора роста было ещё значительнее: разница между вариантом с «Акварином» и контролем достигала 71 растения на м².

Масса семян с одного растения в среднем за годы наблюдений оказалась наибольшей на варианте второго срока посева с регулятором роста «Эпин» и составила 0,43 грамма. Масса 1000 семян озимого рыжика оказалась наибольшей при втором сроке посева и колебалась от 0,91 до 0,95 грамма.

Анализ показал, что максимальная биологическая урожайность озимого рыжика в среднем за годы исследований формировалась при втором сроке посева и составляла 1,88-2,15 т/га. Первый срок уступал ему на 0,26-0,28 т/га, а третий – на 0,30 т/га.

Влияние регуляторов роста прослеживалось на всех сроках. Применение препаратов способствовало увеличению густоты стояния растений. Так, на варианте с «Эпином» количество продуктивных растений варьировало от 433 шт./м² (третий срок) до 471 шт./м² (второй срок), а на варианте с «Акварином» – от 452 до 512 шт./м² соответственно.

Аналогично и масса 1000 семян была самой максимальной на втором сроке посева на варианте обработки семян «Акварином» и составляла 0,95 грамма, минимальной масса 1000 семян была на третьем сроке посева, на контрольном варианте без обработки семян регуляторами роста – 0,85 грамма.

Анализ данных показал, что масса семян с одного растения не претерпевала существенных изменений по вариантам опыта, находясь в пределах 0,38-0,43 г. Тем не менее, тенденция к увеличению этого показателя прослеживалась на втором сроке посева.

Наивысшая биологическая урожайность в среднем за годы исследований была сформирована именно на втором сроке посева при предпосевной обработке семян препаратом «Акварин» и составила 2,15 т/га. На контрольном варианте (без регуляторов роста) на этом же сроке посева урожайность была ниже: на 0,27 т/га по сравнению с «Акварином» и на 0,25 т/га по сравнению с вариантом, где использовался «Эпин».

Аналогичные закономерности нами были отмечены и по хозяйственной урожайности (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние изучаемых факторов на урожайность рыжика озимого, т/га
Table 5 – Influence of the studied factors on the yield of winter rapeseed, t/ha

Срок посева / Sowing time	Регулятор роста / Plant growth regulator	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Средняя за три года / Three-year average
1	Контроль / Control	1,70	1,44	1,56	1,57
	Эпин / Epin	1,85	1,48	1,72	1,68
	Акварин / Akvarin	1,95	1,66	1,83	1,81
2	Контроль / Control	1,96	1,68	1,86	1,83
	Эпин / Epin	2,18	1,74	2,02	1,98
	Акварин / Akvarin	2,25	1,93	2,13	2,10
3	Контроль / Control	1,65	1,41	1,52	1,53
	Эпин / Epin	1,83	1,47	1,69	1,66
	Акварин / Akvarin	1,91	1,67	1,81	1,80
$НСР_{05}$	A	0,12	0,09	0,10	
$НСР_{05}$	B	0,15	0,10	0,12	
$НСР_{05}$	AB	0,12	0,09	0,10	

Согласно представленным в таблице 5 сведениям, продуктивность озимого рыжика на чернозёмных почвах Волгоградской области в значительной степени определялась погодными условиями вегетационного периода. Несмотря на межгодовую вариабельность, закономерность по эффективности сроков посева сохранялась: во все годы наблюдений максимальная урожайность формировалась при втором сроке сева.

В среднем за трёхлетний период урожайность на втором сроке (1,83 т/га) превышала показатели первого (1,57 т/га) на 0,26 т/га и третьего срока – на 0,31 т/га. Использование регуляторов роста оказало существенное положительное влияние на хозяйственную урожайность. Из изученных препаратов наибольшую эффективность продемонстрировал «Акварин», применение которого обеспечило прибавку урожая в диапазоне от 0,24 до 0,27 т/га в зависимости от срока посева. Эффективность препарата «Эпин» также была подтверждена, однако она была несколько ниже. Это подтвердили и экономические расчеты (таблица 6).

6 – Экономические показатели возделывания рыжика озимого по вариантам опыта (в среднем за 2020-2022 гг.)
Table 6 – Economic indicators of winter camelina cultivation by experiment variants (average for 2020-2022)

Срок посева / Sowing time	Регулятор роста / Plant growth regulator	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Стоимость валовой продукции, руб./га / Gross product value, RUB/ha	Производственные издержки, руб./га / Production costs, RUB/ha	Себестоимость 1 т, руб / Cost of 1 t, RUB	Расчетная прибыль, руб./га / Estimated profit, RUB/ha	Уровень рентабельности, % / Profit margin, %
1	Контроль / Control	1,57	28260	12385	7889	15874	128,2
	Эпин / Epin	1,68	30240	12685	7551	17554	138,4
	Акварин / Akvarin	1,81	32580	12886	7119	19695	152,8
2	Контроль / Control	1,83	32940	12465	6811	20475	164,3
	Эпин / Epin	1,98	35640	12855	6492	22785	177,2
	Акварин / Akvarin	2,10	37800	13186	6279	24614	186,7
3	Контроль / Control	1,53	27540	12382	8093	15157	122,4
	Эпин / Epin	1,66	29880	12680	7639	17199	135,6
	Акварин / Akvarin	1,80	32400	12885	7158	19516	151,5

Как следует из данных таблицы 6, в среднем за годы исследований наиболее высокие экономические показатели производства озимого рыжика были достигнуты на втором сроке посева, что выразилось в снижении себестоимости и повышении рентабельности.

Анализ данных таблицы 6 подтверждает эту закономерность: уровень рентабельности на втором сроке (164,3-186,7 %) был существенно выше, чем на первом (128,2-152,8 %), с разницей в 33,9-36,1 %. Третий срок посева характеризовался наименьшей экономической эффективностью.

В рамках изучения влияния регуляторов роста было установлено, что препарат «Акварин» является наиболее эффективным с точки зрения экономики. Его применение обеспечило наивысший прирост рентабельности по сравнению с контролем (+29,1 % на третьем сроке). Препарат «Эпин» также оказывал заметное положительное влияние на экономические показатели, однако уступал по эффективности препарату «Акварин».

Заключение. Результаты наших трёхлетних исследований свидетельствуют о том, что в зоне чернозёмных почв Волгоградской области достижение стабильно высоких урожаев рыжика озимого обеспечивается при соблюдении двух условий – это посева в первой декаде сентября и предпосевной обработки семян препаратом «Акварин» (80 мл на 1 т семян). Применение указанных агротехнологических приёмов способствует снижению себестоимости продукции и позволяет получить рентабельность производства культуры до 186,7 %.

Conclusions. The results of our three-year research indicate that in the black soil zone of the Volgograd Region, consistently high yields of winter camelina (Camelina sativa) can be achieved by meeting two conditions: sowing in the first ten-day period of September and pre-sowing seed treatment with the «Akvarin» preparation (80 mL per 1 tons of seeds). The application of these agricultural technical practices helps reduce production costs and enables achieving a profitability of up to 186.7 % for this crop.

Библиографический список

1. Авдеенко А. П. Продуктивность рыжика озимого в условиях Ростовской области. Международный научно-исследовательский журнал. Сельскохозяйственные науки. 2015. № 11. С. 9-11.
2. Бекузарова С. А., Буянкин В. И., Дулаев Т. А. Стимуляторы роста и развития рыжика озимого. Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 24-28.
3. Прахова Т. Я., Смирнов А. А., Плужникова И. И. Влияние предпосевной обработки семян рыжика на его продуктивность. Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки в России: сборник научных трудов. Пенза, 2015. С. 34-37.
4. Прахова Т. Я., Вельмисева Л. Е. Влияние удобрений на продуктивность рыжика посевного. Зерновое хозяйство России. 2015. Т. 41. № 5. С. 27-30.
5. Прахова Т. Я., Кабунина И. В. Эффективность возделывания нетрадиционных культур в зависимости от норм высева. Аграрная наука. 2022. № 10. С. 52-66.
6. Прахова Т. Я. и др. Параметры фотосинтеза масличных культур семейства Brassicacea. Аграрный научный журнал. 2020. № 5. С. 25-31.
7. Прахова Т. Я., Турина Е. Л. Влияние климатических условий на масличность и качество маслосемян рыжика озимого. Аграрный научный журнал. 2023. № 3. С. 21-38.
8. Виноградов Д. В. и др. Приёмы повышения продуктивности рыжика озимого (Camelina sativa) в условиях нечернозёмной зоны России. Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 4. С. 18-21.
9. Кабунина И. В., Прахова Т. Я. Производство оригинальных семян рыжика озимого и оценка его эффективности. Аграрный научный журнал. 2021. № 2. С. 15-26.
10. Турина Е. Л. Значение и культивирование Camelina sativa в различных регионах мира (обзор). Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 3 (19). С. 133-151.
11. Avola G., Sortino J., Gresta F. Lom-input cultivation of camelina (Camelina sativa L. Crantz) in a Mediterranean semi-arid environment. Italian Journal of Agronomy. 2021 No 16 (1). Art. 1728.
12. Pashtetskiy V. S. et al. Formation of agrocenosis Camelina sativa in the conditionus of Black sea region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 6. No. 06.

References

1. Avdeenko A. P. Productivity of Winter Camelina in the Rostov Region. International Research Journal. Agricultural Sciences. 2015. No. 11. Pp. 9-11.
2. Bekuzarova S. A., Buyankin V. I., Dulaev T. A. Growth and Development Stimulants of Winter Camelina. Proceedings of the Gorsky State Agrarian University. 2016. No. 2. Pp. 24-28.
3. Prahova T. Ya., Smirnov A. A., Pluzhnikova I. I. The effect of pre-sowing treatment of seeds of Camelina on its productivity. Actual problems of agricultural science in Russia: collection of scientific papers. Penza, 2015. Pp. 34-37.
4. Prahova T. Ya., Velmiseva L. E. The effect of fertilizers on the productivity of Camelina sativa. Grain Farming in Russia. 2015. Vol. 41. No. 5. Pp. 27-30.
5. Prahova T. Ya., Kabunina I. V. The Effectiveness of Cultivating Non-Traditional Crops Depending on the Seeding Rates. Agrarian Science. 2022. No. 10. Pp. 52-66.
6. Prahova T. Ya. et al. Photosynthesis Parameters of Oilseeds of the Brassicaceae Family. Agrarian Scientific Journal. 2020. No. 5. Pp. 25-31.
7. Prahova T. Ya., Turina E. L. Influence of climatic conditions on the oil content and quality of winter camelina oilseeds. Agrarian Scientific Journal. 2023. No. 3. Pp. 21-38.

8. Vinogradov D. V. et al. Methods of increasing the productivity of winter camelina (Camelina sativa) in the conditions of the non-black soils zone of Russia. Russian Agricultural Science. 2019. No. 4. Pp. 18-21.
9. Kabunina I. V., Prakhova T. Ya. Production of Original Winter Camelina Seeds and Evaluation of Its Effectiveness. Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 2. Pp. 15-26.
10. Turina E. L. The Importance and Cultivation of Camelina sativa in Various Regions of the World (Review). Tavrichesky Vestnik Agrarnoy Nauki. 2019. No. 3 (19). Pp. 133-151.
11. Avola G., Sortino J., Gresta F. Lom-input cultivation of camelina (Camelina sativa L. Crantz) in a Mediterranean semi-arid environment. Italian Journal of Agronomy. 2021 No 16 (1). Art. 1728.
12. Pashtetskiy V. S. et al. Formation of agrocenosis Camelina sativa in the conditionus of Black sea region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 6. No. 06.

Информация об авторах
Медведев Геннадий Андреевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: medwedevga@yandex.ru
Екатериничева Наталья Геннадьевна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т, Университетский, 26), e-mail: nataeka@mail.ru
Семенова Екатерина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru
Authors' Information
Medvedev Gennady Andreevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: medwedevga@yandex.ru
Ekaterinicheva Natalya Gennadievna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nataeka@mail.ru
Semenova Ekaterina Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-10

THE WHITE TECHNICAL GRAPE VARIETIES' CLONES FOR THE HIGH-QUALITY WINEMAKING IN THE WARMING CLIMATE CONDITIONS

Petrov V. S., Sheludko O. N., Antonyan A. K., Khristenko P. A.

North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking
Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: petrov_53@mail.ru

Received 18.03.2026 Submitted 08.07.2026

The research was carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation, Agrofirma Yuzhnaya LLC within the framework of the NTIP-25.1/5 project.

Summary
The article presents the results of agricultural biological and winemaking assessments of the Aligote, Riesling, and Chardonnay grape varieties in the unstable weather conditions of the temperate continental climate in southern Russia. The research results revealed proto-clones with economically valuable positive characteristics for practical use in Russian viticulture.

Abstract
Introduction. Grape plantations in the conditions of climate warming are subject to the influence of critically high air temperatures, intense ultraviolet radiation, and a shortage of precipitation exceeding the optimal values. Extreme weather conditions have a direct impact on the ontogenesis of grape culture, photosynthesis, growth processes, lead to a shift in the phases of vegetation, the spread of new pathogens and insects, affect the composition of grapes, the quality of wine. The aim is to study and select the proto-clones of Aligote, Riesling and Chardonnay grape varieties with positive signs of high adaptability, stable productivity and high-quality raw materials for the production of competitive wines. **Object.** Protoclones of white technical grape varieties Aligote, Riesling and Chardonnay. **Materials and methods.** In the Black Sea agroecological zone of viticulture of the Krasnodar Territory in the Yuzhnaya AF (Taman village), according to the results of the evaluation of uterine bushes, proto-clones (2005-2008) were selected for their reproduction and study in vegetative offspring. The first vegetative posterity was planted in 2009 at the AZOSViV clone testing site (Anapa). The second vegetative offspring at the clone testing site in Yuzhnaya AF in 2014 were vaccinated on a 14-year-old Kober 5BB rootstock. Proto-clones were studied in the first vegetative progeny in 2014-2016, in the second in 2015-2016. (first term) and in 2025 (second term). Agricultural biological assessment of proto-clones was carried out by the number of shoots, budding eyes, clusters, fruiting and fruiting coefficients, average bunch weight, shoot productivity and grape yield. The experimental samples of wine materials were obtained using the same technology under the conditions of micro-wine production. The study of the physical and chemical parameters of dry white wine materials was carried out according to standard methods, organoleptic analysis was carried out by a tasting committee on a 10-point rating scale. **Results and discussion.** In variable weather conditions, including extreme conditions, the proto-clones ZA 11-79-37 of the Aligote variety, ZSH 137-44 of the Chardonnay variety, and RUCH 38-67 of the Riesling variety maintained consistently high grape productivity and high-quality wine throughout the study. On aver-

age, the yield of ZA 11-79-37 was 11.87 t/ha, ZSH 137-44 was 8.90 t/ha, and RUCH 38-67 was 11.45 t/ha, which is 24 %, 8 %, and 19 % higher than the control counterparts, respectively. The tasting score for ZA 11-79-37 was 7.78 points, for ZSH 137-44 it was 8.08 points, and for RUCH 38-67 it was 7.75 points. The consistently high productivity of the grapes and the high quality of the wine materials from the selected protoclones make them suitable for improving the variety, creating adapted plantations, and sustainable production of grapes and high-quality wines in the changing temperate continental climate of southern Russia.

Keywords: *technical grape varieties, white grape varieties, clones of white grape varieties, quality of wine materials, climatic conditions for grape cultivation.*

Citation. Petrov V. S., Sheludko O. N., Antonyan A. K., Khristenko P. A. The white technical grape varieties' clones for the high-quality winemaking in the warming climate conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 98-110 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-10.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version presented.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 634.8:631.52

КЛОНЫ БЕЛЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СОРТОВ ВИНОГРАДА ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО ВИНОДЕЛИЯ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Петров В. С., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
Шелудько О. Н., *доктор технических наук*
Антонян А. К., *младший научный сотрудник*
Христенко П. А., *лаборант-исследователь*

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»
г. Краснодар, Российская Федерация

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда, ООО агрофирма «Южная» в рамках проекта № НТИП-25.1/5.

Актуальность. Насаждения винограда в условиях потепления климата подвержены влиянию критически высоких температур воздуха, интенсивного ультрафиолетового излучения, дефицита атмосферных осадков, выходящих за пределы оптимальных значений. Экстремальные погодные условия оказывают прямое влияние на онтогенез культуры винограда, на фотосинтез, ростовые процессы, приводят к смещению фаз вегетации, распространению новых патогенов и насекомых, влияют на состав винограда, качество вина. Цель – изучение и отбор протоклонов сортов винограда Алиготе, Рислинг и Шардоне с положительными признаками высокой адаптивности, стабильной продуктивности и качественного сырья для производства конкурентоспособных вин. **Объект.** Протоклоны белых технических сортов винограда Алиготе, Рислинг и Шардоне. **Материалы и методы.** В Черноморской агроэкологической зоне виноградарства Краснодарского края в АФ «Южная» (ст-ца Тамань) по результатам оценки маточных кустов были отобраны протоклоны (2005-2008 гг.) для их размножения и изучения в вегетативном потомстве. Высадка первого вегетативного потомства произведена в 2009 г. на клоноиспытательном участке АЗОСВиВ (г.-к. Анапа). Второе вегетативное потомство на клоноиспытательном участке в АФ «Южная» в 2014 г. было привито на 14-летнем подвое Кобер 5ББ. Изучали протоклоны в первом вегетативном потомстве в 2014-2016 гг., во втором – в 2015-2016 гг. (первый срок) и в 2025 г. (второй срок). Агробиологическую оценку протоклонов проводили по количеству побегов, распустившихся глазков, гроздей, коэффициентам плодоношения и плодоносности, средней массе грозди, продуктивности побега и урожайности винограда. Опытные образцы виноматериалов получали по одной технологии в условиях микровиноделия. Исследование физико-химических показателей виноматериалов сухих белых проводили по стандартным методикам, органолептический анализ – дегустационная комиссия по 10-балльной шкале оценок. **Результаты и выводы.** В изменчивых погодных условиях, включая экстремальные, на всех этапах изучения сохранялись стабильно высокая продуктивность винограда у протоклонов ЗА 11-79-37 сорта Алиготе, ЗШ 137-44 сорта Шардоне, РЮЧ 38-67 сорта Рислинг и высокое качество вина. В среднем за период исследований урожайность у ЗА 11-79-37 составляла 11,87 т/га, ЗШ 137-44 – 8,90 т/га и РЮЧ 38-67 – 11,45 т/га, что выше, чем у контрольных аналогов на 24; 8 и 19 %, соответственно. Дегустационная оценка у ЗА 11-79-37 соответствовала 7,78 балла, ЗШ 137-44 – 8,08 балла и РЮЧ 38-67 – 7,75 баллов. Стабильно высокие показатели продуктивности винограда и высокое качество виноматериалов выделенных протоклонов позволяют рекомендовать их для улучшения сортимента, создания адаптивых насаждений, устойчивого производства винограда и качественных вин в условиях изменения умеренно континентального климата юга России.

Ключевые слова: *технические сорта винограда, белые сорта винограда, клоны белых сортов винограда, качество виноматериалов, климатические условия возделывания винограда.*

Цитирование. Петров В. С., Шелудько О. Н., Антонян А. К., Христенко П. А. Клоны белых технических сортов винограда для качественного виноделия в условиях потепления климата. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 98-110. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-10.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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 условиях изменения климата большинство виноградарей во всем мире все чаще сталкиваются с аномальными проявлениями погоды ростом температуры воздуха и дефицитом воды, особенно в летний период во время активной вегетации винограда. Насаждения подвержены влиянию критически высоких температур воздуха, перепадов температур, интенсивного ультрафиолетового излучения и дефицита атмосферных осадков, выходящих за пределы оптимальных значений для онтогенеза винограда. В Северо-Западном Предкавказье в 1961-1990 гг. абсолютный максимум температуры воздуха варьировал от 37 °С (Темрюк) до 41 °С (Новороссийск). В 1991-2020 гг. значение абсолютного максимума температуры воздуха выросло на всех станциях, за исключением Новороссийска, и варьировало от 38,0 °С (Анапа и Темрюк) до 39,6 °С (Новороссийск). В Анапе увеличилась повторяемость неблагоприятных для винограда значений теплообеспеченности абсолютного максимума от 1 до 4 лет. Количество дней с максимальной температурой воздуха выше 35 °С на Тамани увеличилось на 1 °С (от 0,1 до 1,1 °С), в Анапе – почти на 2 °С (от 0,2 до 2,1 °С), в Новороссийске и Геленджике – больше, чем на 2 °С (от 0,5 до 2,6 и от 0,3 до 2,6 °С соответственно) [1].

Изменение климата оказывает прямое влияние на онтогенез культуры винограда и формирует значительную неопределенность относительно потенциальной адаптивности растений [2]; экстремальные погодные условия оказывают негативное влияние на фотосинтез [3], ростовые процессы и фитосанитарное состояние, вызывают повреждение липидов, белков, углеводов и ДНК [4]. Повышение температуры приводит к ускоренному фенологическому развитию [5], отмечается смещение фаз вегетации от 22 до 30 дней в зависимости от сорта [6, 7]. Колебания погодных условий приводят к распространению новых патогенов и насекомых, а также к значительному снижению продуктивности насаждений [8]. Повышение температуры ускоряет созревание и влияет на состав винограда, особенно на ароматические соединения. Повышенный водный стресс снижает урожайность и меняет состав плодов, что сказывается на качестве вина [5].

Количество осадков, особенно в период вегетации, существенно влияет на урожайность; высокие среднегодовые температуры и продолжительность солнечного сияния приводят к снижению массы ягод. В годы с более высокими температурами концентрация сахара выше, а кислотность ниже, сильно варьируют органолептические свойства вин. В более прохладные годы в винах преобладают цветочные и фруктовые ароматы, а при высоких температурах появляются специфические нотки, такие как роза и экзотические фрукты. Восприятие сладости и медового аромата связано с более высоким содержанием алкоголя (R^2 = 0,89) и сухого экстракта (R^2 = 0,77), маслянистость вин с зимними осадками (R^2 = 0,87) [9].

В условиях изменения климата меняется физиология виноградной лозы. Изменения приводят к серьезным сдвигам в первичном (баланс сахара и органических кислот) и вторичном (фенольные и ароматические соединения) метаболизме ягод, а также к изменению состава вина. Некоторые бордоские вина теряют свежесть, а их рубиновый цвет становится менее насыщенным [10]. Отмечается высокое содержание алкоголя, высокий уровень pH и низкая кислотность, развитие нежелательных микроорганизмов, накопление микотоксинов и биогенных аминов в винах [11].

Изменение температурного режима и осадков напрямую влияет на пригодность территорий для виноградников по всей Европе. В Западной и Центральной Европе ожидается перемещение высококачественных виноградников на север [12].

Из-за чрезмерной засухи и участившихся периодов аномальной жары к концу века около 90 % традиционных винодельческих регионов в прибрежных и низменных районах Испании, Италии, Греции и южной Калифорнии могут оказаться под угрозой исчезновения.

Повышение температуры может сделать более пригодными для виноделия другие регионы (штат Вашингтон, Орегон, Тасмания, север Франции) и способствовать появлению новых винодельческих регионов, например на юге Великобритании. Производители могут адаптироваться к определенному уровню потепления, изменив сорта и подвои, систему формирования куста и методы ухода за виноградниками [13].

Мировая научная общественность считает, что возможными мерами адаптации к изменению климата может стать оптимизация сортового состава, агротехнологий и процесса производства вина [14, 15, 16].

Эффективным инструментом создания устойчивых высокопродуктивных ампелоценозов в нестабильных погодных условиях умеренно континентального климата юга России является клоновая селекция. Научные исследования, направленные на повышение адаптивности насаждений в нестабильных погодных условиях, оптимизацию продуктивности и качества винограда и винодельческой продукции на основе совершенствования сортимента, являются крайне актуальными.

Цель – изучение и отбор протоклонов сортов винограда Алиготе, Рислинг и Шардоне с положительными признаками высокой адаптивности, стабильной продуктивности и качественного сырья для производства конкурентоспособных вин.

Материалы и методы. Объект исследования – протоклоны белых технических сортов винограда: Алиготе, Рислинг и Шардоне.

Выделение протоклонов осуществляли поэтапно. В начале (2005-2008 гг.) в Черноморской агроэкологической зоне виноградарства Краснодарского края в АФ «Южная» (ст-ца Тамань) по результатам оценки маточных кустов были отобраны протоклоны для их размножения и изучения в вегетативном потомстве. Высадка первого вегетативного потомства в количестве 10 корнесобственных саженцев каждого протоклона произведена в 2009 г. на клоноиспытательном участке АЗОСВиВ (г.-к. Анапа). Второе вегетативное потомство на клоноиспытательном участке в АФ «Южная» в 2014 г. было привито на 14-летнем подвое Кобер 5ББ. Изучали протоклоны в первом вегетативном потомстве в 2014-2016 гг., во втором потомстве в 2015-2016 гг. (первый срок) и в 2025 г. (второй срок).

Для оценки протоклонов использовали общепринятые в виноградарстве методы клоновой селекции [17]. Агробиологическую оценку протоклонов проводили по количеству побегов, в том числе плодоносных, распустившихся глазков, гроздей, коэффициентам плодоношения и плодоносности, средней массе грозди и урожайности винограда, продуктивности побега [18].

Опытные образцы виноматериалов сухих белых получали по одной технологии в условиях микровиноделия на базе лабораторно-производственного подразделения «Микровиноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Свежий виноград дробили с гребнеотделением. Мезгу сульфитировали до 80-90 мг/дм^3 общего диоксида серы и прессовали на корзиночном прессе. Выход свежего виноградного сусла составлял 0,55-0,65 л/кг. Сусло осветляли 12 часов отстаиванием при температуре не более 16 $^{\circ}$С, вносили ЧКД (АСД) и проводили спиртовое брожение в течении 14 суток при температуре ~ 16 $^{\circ}$С. После окончания спиртового брожения осуществляли снятие молодого виноматериала с осадка и сульфитацию (вносили сернистый ангидрид 50 мг/дм^3). Опытные образцы виноматериалов хранили в стеклянных емкостях на тонком слое осадка (пылевидном) в течение 60 суток. После направляли на дегустацию и определение физико-химических показателей.

Исследование физико-химических показателей опытных образцов виноматериалов сухих белых проводили по стандартным методикам: объемную долю этилового спирта – по ГОСТ 32095-2013, массовую концентрацию сахаров – по ГОСТ 13192-73, массовую концентрацию титруемых кислот, в пересчете на винную кислоту, – по ГОСТ 32114-2013, массовую концентрацию летучих кислот, в пересчете на уксусную кислоту, – по ГОСТ 32001-2012, массовую концентрацию приведенного экстракта – по ГОСТ 32000-2012, содержание фенольных веществ определяли спектрофотометрическим методом (ЮНИКО 1201, Россия) (Методы технохимического контроля в виноделии, 2009). Органолептический анализ опытных образцов виноматериалов сухих белых проводила дегустационная комиссия научного центра «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ с приглашением специалистов научного центра «Виноградарство» по ГОСТ 32051-2013 «Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа», применяя описательные характеристики и 10-бальную шкалу оценок. Проходной балл – 7,3.

Результаты и обсуждение. Ведущие виноградарские и винодельческие страны мира – Италия, Франция, Испания, Германия, Венгрия, Румыния и др. – вырабатывают адаптивную стратегию на основе использования клонов для решения проблем, связанных с изменением климата [19, 20-22]. В России клоновая селекция, направленная на создание адаптивного виноградарства и виноделия, осуществляется в Краснодарском крае (Ильницкая Е. Т. и др. Совершенствование сортимента и методов селекции винограда для нестабильных климатических условий юга России. Виноделие и виноградарство. 2016. № 4. С. 36-41), республиках Дагестан [23] и Крым [24]. Клоновая селекция предполагает выявление и использование индивидуальных хозяйственно полезных вариаций у различных сортов, возникающих путем мутационной изменчивости под влиянием меняющихся условий климата [24].

В Северо-Западном Предкавказье в период с 1960 года по настоящее время отмечается повышение температуры воздуха и увеличение частоты аномальных проявлений погоды, вызывающих мутации у используемых сортов винограда. Наиболее интенсивные изменения погоды наблюдались в климатологический период с 1991 по 2020 гг. Среднегодовая температура за этот период повысилась по сравнению с предшествующим (1961-1990 гг.) на 1,3 °С (с 11,7 до 13,0 °С), максимальная на – 2,8 °С (с 33,2 до 36,0 °С). На фоне общего потепления климата в последние 25 лет наблюдается тенденция существенного уменьшения количества атмосферных осадков.

Аномальные проявления погоды в Анапе в период оценки первого вегетативного потомства наблюдались преимущественно во время активного роста и созревания ягод винограда. Температура воздуха была выше климатологической нормы на 3,0 °С (15 %), максимальная поднималась до 37 °С и была критической для вегетации винограда. Сумма активных температур выше 10 °С увеличилась на 489 °С (14 %) и составляла 4094 °С. Отмечался острый дефицит атмосферных осадков, и особенно в период роста ягод винограда. В отдельные годы наблюдался острый дефицит осадков – 17 мм, что на 73 % меньше нормы (2016 г.). В результате изменения температурного режима продолжительность вегетации растений винограда увеличилась в среднем на 10 дней, в отдельные годы разница достигала 17 дней и составляла 219 дней. На Тамани наибольшее превышение температуры воздуха установлено в период созревания ягод – 2,3 °С (11 %). Сумма активных температур увеличилась на 296 °С (8 %) и достигала 3894 °С. Острый дефицит осадков, как и в Анапе, отмечался чаще всего во время роста ягод (в среднем 32 мм, это меньше нормы на 50 %). Наиболее острый дефицит осадков наблюдался в 2016 году – 15 мм, на 77 % меньше нормы.

Частые погодные аномалии стали причиной соматических мутаций винограда, появления биотипов с положительными и отрицательными признаками. Исследования позволили выявить в большом разнообразии протоклоны сортов Алиготе, Шардоне и Рислинг, сохраняющие высокую продуктивность в первом и втором вегетативном потомствах.

У сорта Алиготе по значениям высокой продуктивности и стабильности плодоношения в первом (г.-к. Анапа, 2014-2016 гг.) и втором (ст-ца Тамань, 2015-2016 гг., 2025 г.) вегетативном потомствах выделены протоклоны ЗА 11-71-3 и ЗА 11-79-37. Данные протоклоны во всех поколениях и во все сроки наблюдений устойчиво доминировали по урожайности винограда. Протоклон ЗА 11-79-37 в 2014-2016 гг. при урожайности 9,10 т/га превосходил контроль на 20 %, в 2015-2016 гг. при урожайности 5,59 т/га был одинаков с контролем, в 2025 г. при урожайности 20,91 т/га превосходил контроль на 35 %, ЗА 11-71-3 в среднем за 2015-2016 гг. при урожайности 6,71 т/га превосходил контроль на 19 %, в 2025 г. при урожайности 16,66 т/га, разница с контролем составила 8 %. При наибольшей урожайности ЗА 11-79-37 имел самые низкие массовые концентрации сахаров и высокие – титруемых кислот (таблица 1).

Таблица 1 – Продуктивность и качество винограда протоклонов сорта Алиготе, ст-ца Тамань
Table 1 – Productivity and quality of Aligote grape proto-clones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Урожайность винограда, т/га / Yield of grapes, t/ha	Массовая концентрация / Mass concentration	
		сахаров, г/100 см^3 / sugars, g/100 cm^3	титруемых кислот, г/дм^3 / Titrated acids, g/dm^3
ЗА 11-71-3	16,66	17,2±0,6	9,9±0,9
ЗА 11-91-15	9,91	16,8±2,2	8,4±0,6
ЗА 11-79-37	20,91	15,1±1,1	11,4±1,1
$НСР_{05}$	1,81	0,74	0,76

Это также видно и по физико-химическим показателям виноматериалов (низкая объемная доля этилового спирта и активная кислотность (pH), высокая массовая концентрация титруемых кислот) (таблица 2). Следовательно, можно предположить, что данный протоклон более позднего срока созревания относительно других изучаемых протоклонов сорта Алиготе.

У протоклона ЗА 11-71-3 при более низкой урожайности наблюдались самая высокая массовая концентрация сахаров и низкая массовая концентрация титруемых кислот (таблица 1, 2).

Таблица 2 – Физико-химические показатели опытных образцов виноматериалов сухих белых из винограда протоклонов сорта Алиготе, ст-ца Тамань
Table 2 – Physical and chemical indicators of dry white wine materials from grapes of the Aligote variety proto-clones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Объемная доля этилового спирта, % / Volume fraction of ethyl alcohol, %	Массовая концентрация, г/дм^3 / Mass concentration, g/dm^3				pH	Сумма фенольных веществ, мг/дм^3 / Sum of phenolic substances, mg/dm^3
		титруемых кислот / titrated acids	летучих кислот / volatile acids	сахаров / sugars	приведенного экстракта / extract		
ЗА 11-71-3	10,5±0,5	7,5±0,4	0,55±0,3	0,7±0,4	22,9±0,1	2,82±0,05	310±6
ЗА 11-91-15	10,1±1,3	6,2±0,2	0,48±0,02	0,6	25,1±2,6	2,98±0,10	288±45
ЗА 11-79-37	9,0±0,6	7,7±0,3	0,45±0,05	0,8±0,3	22,6±0,5	2,79±0,16	346±15
$НСР_{05}$	0,58	0,54	0,14	0,28	0,82	0,21	3,49

По органолептическим показателям образец виноматериалов, полученный из протоклона ЗА 11-71-3, превосходил другие генотипы. Образец имел светло-соломенный цвет, чистый, яркий, с тонами экзотических фруктов и цветов, оттенками яблока и ананаса, дегустационная оценка 7,83 балла (таблица 3).

Таблица 3 – Органолептическая характеристика опытных образцов виноматериалов сухих белых из винограда протоклонов сорта Алиготе, ст-ца Тамань
Table 3 – Organoleptic characteristics of dry white wine materials made from Aligote grape protoclones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Органолептическая характеристика / Organoleptic characteristics	Балл / Unit
ЗА 11-71-3	Внешний вид опалесцирующий, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат чистый, яркий, с тонами экзотических фруктов и цветов, оттенками яблока и ананаса, вкус чистый, свежий / Appearance opalescent, without sediment and foreign inclusions, color light straw, aroma pure, bright, with tones of exotic fruits and flowers, hints of apple and pineapple, taste pure, fresh	7,83
ЗА 11-91-15	Внешний вид опалесцирующий, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат чистый, тонкий, с травянистыми и растительными оттенками, вкус чистый, излишне свежий / Appearance opalescent, without sediment and foreign inclusions, color light straw, aroma pure, subtle, with herbal and vegetal hints, taste pure, overly fresh	7,73
ЗА 11-79-37	Внешний вид опалесцирующий, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат чистый, яркий, с тонами полевых цветов, сливочными оттенками, вкус чистый, умеренно свежий / Appearance opalescent, without sediment or foreign inclusions, light straw color, pure, bright aroma with hints of wildflowers and cream, clean, moderately fresh taste	7,78
$НСР_{05}$		0,17

Корреляционный анализ показал обратную зависимость качества виноматериалов от урожайности винограда протоклонов сорта Алиготе. По данным рисунка 1 при повышении урожайности винограда до 15 т/га дегустационная оценка имеет тенденцию к повышению, при дальнейшем увеличении продуктивности качество виноматериалов снижается. Наиболее тесная связь установлена у протоклона ЗА 11-71-3. Коэффициент корреляции составляет -0,88. Аналогичная закономерность наблюдается у протоклона ЗА 11-79-37. Коэффициент корреляции равен -0,56. По предварительным данным можно отметить, что для получения качественных виноматериалов из винограда протоклонов сорта Алиготе урожайность не должна превышать 15 т/га.

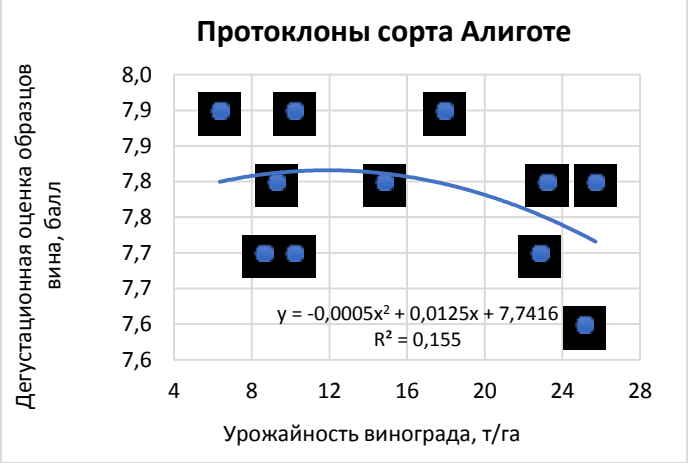


Рисунок 1 – Влияние урожайности винограда протоклонов сорта Алиготе на органолептические свойства виноматериалов
Figure 1 – The effect of the grape yield of the protoclones of the Aligote variety on the organoleptic properties of wine materials

Среди биотипов сорта Шардоне наибольшей стабильностью и продуктивностью на всех этапах изучения отличался протоклон ЗШ 137-44. В первом вегетативном потомстве в 2014-2016 гг. генотип показал урожайность 8,33 т/га, что на 22 % выше, чем у контрольного аналога, во втором вегетативном потомстве в 2015-2016 гг. урожайность была 7,73 т/га (близко к контролю), в 2025 г. – 10,62 т/га, что выше контроля на 8 %. При высокой урожайности ЗШ 137-44 имел самую низкую массовую концентрацию сахаров и наиболее высокую концентрацию титруемых кислот в ягодах винограда (таблица 4).

Таблица 4 – Продуктивность и качество винограда протоклонов сорта Шардоне, ст-ца Тамань
Table 4 – Productivity and quality of Chardonnay grape protoclones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Урожайность винограда, т/га / Grape yield, t/ha	Массовая концентрация / Mass concentration	
		сахаров, г/100 см^3 / sugars, g/100 cm^3	титруемых кислот, г/дм^3 / titrated acids, g/dm^3
ЗШ 137-44	10,62	20,2±3,0	8,7±0,6
ЗШ 168-25	7,99	21,4±0,2	7,9±0,8
ЗШ 138-44	10,75	20,3±2,0	8,0±0,4
$НСР_{05}$	1,33	0,93	0,56

Из данных таблицы 5 видно, что сбор урожая протоклонов сорта Шардоне осуществили после достижения технической зрелости винограда. Все варианты отличились близкими значениями массовых концентраций сахаров и титруемых кислот винограда и соответственно близкими значениями физико-химических показателей опытных образцов виноматериалов. Более значительное варьирование физико-химических показателей как в винограде, так и в виноматериале отмечено у протоклона ЗШ 137-44. В тоже время образцы виноматериалов данной группы протоклонов были оценены высоко.

Таблица 5 – Физико-химические показатели опытных образцов виноматериалов сухих белых из винограда протоклонов сорта Шардоне, ст-ца Тамань
Table 5 – Physical and chemical indicators of dry white wine materials from grapes of the Chardonnay variety protoclones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Объемная доля этилового спирта, % / Volume fraction of ethyl alcohol, %	Массовая концентрация, г/дм^3 / Mass concentration, g/dm^3				pH	Сумма фенольных веществ, мг/дм^3 / Sum of phenolic substances, mg/dm^3
		титруемых кислот / titrated acids	летучих кислот / volatile acids	сахаров / sugars	приведенного экстракта / extract		
ЗШ 137-44	11,8±1,5	5,8±0,9	0,48±0,04	0,7±0,2	19,2±1,3	3,09±0,10	368±44
ЗШ 168-25	12,9±0,2	5,9±0,3	0,54±0,03	1,3±0,9	20,2±0,9	3,18±0,07	347±11
ЗШ 138-44	12,1±1,1	5,8±0,1	0,54±0,05	1,0±0,4	20,4±0,4	3,12±0,05	361±36
$НСР_{05}$	0,71	0,45	0,14	0,49	0,68	0,18	3,47

По органолептическим показателям образцы виноматериалов, полученные из протоклонов сорта Шардоне, имели близкие значения дегустационной оценки. Наиболее высокую дегустационную оценку получил образец виноматериала из винограда протоклона ЗШ 137-44. Образец имел светло-соломенный цвет, аромат чистый, яркий, сортовой, вкус полный, умеренно свежий, с продолжительным послевкусием, дегустационная оценка 8,08 балла (таблица 6).

Таблица 6 – Органолептическая характеристика опытных образцов виноматериалов сухих белых из винограда протоклонов сорта Шардоне, ст-ца Тамань
Table 6 – Organoleptic characteristics of dry white wine materials made from Chardonnay grape protoclones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Органолептическая характеристика / Organoleptic characteristics	Балл / Unit
ЗШ 137-44	Внешний вид опалесцирующий, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат чистый, яркий, сортовой, вкус полный, умеренно свежий, с продолжительным послевкусием / Appearance opalescent, without sediment and foreign inclusions, color light straw, aroma pure, bright, varietal, taste full, moderately fresh, with a long aftertaste	8,08
ЗШ 168-25	Внешний вид опалесцирующий, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат яркий, тонкий, сортовой, с тонами яблока и цветов, вкус полный, округлый, мягкий / Appearance opalescent, without sediment and foreign inclusions, color light straw, aroma bright, subtle, varietal, with apple and floral tones, taste full, rounded, soft	7,95
ЗШ 138-44	Внешний вид опалесцирующий, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат яркий, тонкий, развитый, сортовой, с тонами яблока, цветочными оттенками, вкус полный, округлый, гармоничный / Appearance opalescent, without sediment or foreign inclusions, light straw color, bright, subtle, developed, varietal aroma with apple tones and floral hints, full, round, harmonious taste	7,98
$НСР_{05}$		0,28

Анализ зависимости качества вина от урожайности винограда протоклонов сорта Шардоне, показывает неустойчивую связь. В целом у изучаемых протоклонов при урожайности винограда до 12 т/га качество вина хорошее, при более высокой продуктивности – ниже. По отдельным протоклонам зависимость неоднозначная. Сильная прямая связь наблюдается у протоклона ЗШ 168-25 при r = 0,95. У протоклона ЗШ 137-44 корреляционная связь обратная средняя, коэффициент корреляции составляет -0,64. У протоклона ЗШ 138-44 значение этого показателя равно 0,48. Если ориентироваться на обобщенные данные рисунка 2, можно отметить, что для получения качественных виноматериалов из винограда протоклонов сорта Шардоне урожайность не должна превышать 12 т/га.

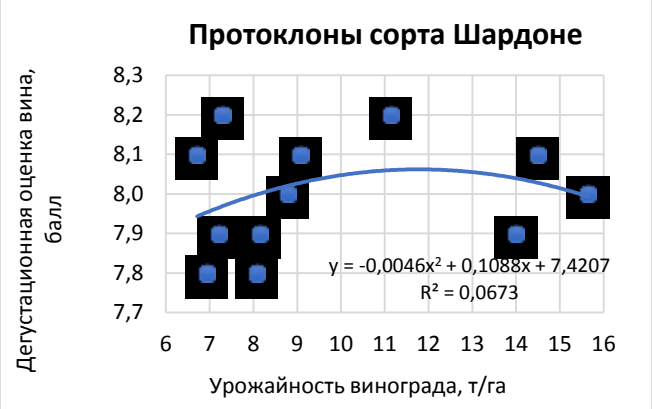


Рисунок 2 – Влияние урожайности винограда протоклонов сорта Шардоне на органолептические свойства виноматериалов
Figure 2 – The effect of the grape yield of the protoclones of the Chardonnay variety on the organoleptic properties of wine materials

У сорта Рислинг на всех этапах изучения по совокупности положительных признаков выделялись протоклоны РЮЧ 38-67 и РЮЧ 39-39. У протоклона РЮЧ 38-67 в первом вегетативном потомстве в 2014-2016 гг. урожайность винограда составляла 11,13 т/га, во втором потомстве в 2015-2016 гг. – 5,96 т/га, в 2025 г. – 17,27 т/га, это выше контроля на 29, 31 и 10 % соответственно. Протоклон РЮЧ 39-39 аналогично отличался от других генотипов более высокой продуктивностью. У этого генотипа в 2014-2016 гг. урожайность была 11,37 т/га, в 2015-2016 гг. – 5,24 т/га, в 2025 г. – 16,77 т/га, что выше, чем у контроля на 32, 15 и 7 % соответственно. При наибольшей урожайности протоклон РЮЧ 38-67 имел самые высокие значения массовой концентрации сахаров и титруемых кислот в ягодах винограда, у протоклона РЮЧ 39-39 при высокой урожайности массовая концентрация сахаров была самой низкой, титруемых кислот – средняя (таблица 7).

Таблица 7 – Продуктивность и качество винограда протоклонов сорта Рислинг, ст-ца Тамань
Table 7 – Productivity and quality of Riesling grape protoclones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Урожайность винограда, т/га / Grape yield, t/ha	Массовая концентрация / Mass concentration	
		сахаров, г/100 см^3 / sugars, g/100 cm^3	титруемых кислот, г/дм^3 / titrated acids, g/dm^3
РЮЧ 38-67	17,27	16,3±0,9	8,7±0,4
РЮЧ 39-39	16,77	14,4±0,2	8,5±0,1
РЮЧ 18-36	13,16	16,6±0,4	8,4±0,6
$НСР_{05}$	1,45	0,61	0,45

Из таблицы 8 видно, что был произведен ранний сбор урожая. Виноград отличился умеренным содержанием сахаров и высокой массовой концентрацией титруемых кислот, но более умеренной по сравнению с протоклонами сорта Алиготе. Это может быть желательным для производства игристых вин, белых вин с легким, освежающим сложением аромата и вкуса и низким содержанием алкоголя.

Таблица 8 – Физико-химические показатели опытных образцов виноматериалов сухих белых из винограда протоклонов сорта Рислинг, ст-ца Тамань
Table 8 – Physical and chemical indicators of dry white wine materials from grapes of the Riesling variety protoclones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Объемная доля этилового спирта, % / Volume fraction of ethyl alcohol, %	Массовая концентрация, г/дм^3 / Mass concentration, g/dm^3				pH	Сумма фенольных веществ, мг/дм^3 / Sum of phenolic substances, mg/dm^3
		титруемых кислот / titrated acids	летучих кислот / volatile acids	сахаров / sugars	приведенного экстракта / extract		
РЮЧ 38-67	9,7±0,5	5,9±0,4	0,69±0,03	1,8+2,0	24,7±2,6	3,27±0,23	317±1
РЮЧ 39-39	10,3±0,2	6,0±0,2	0,66±0,07	1,8±1,2	24,6±2,6	3,15±0,34	319±9
РЮЧ 18-36	10,0±0,3	5,3±0,2	0,67±0,05	1,7±0,8	25,1±1,9	3,14±0,9	310±17
$НСР_{05}$	0,48	0,45	0,14	0,72	0,91	0,33	2,09

Из трех групп клонов наиболее равномерное накопление сахаров и содержание титруемых кислот отмечено для группы РЮЧ 39-39. Также образцы виноматериалов РЮЧ 39-39 получились с близкими органолептическими и физико-химическими показателями. Все варианты РЮЧ 38-67 обладали светло-соломенным цветом, чистым, тонким ароматом, с фруктовыми и цветочными оттенками и чистым, умеренно свежим вкусом (таблица 9).

Таблица 9 – Органолептическая характеристика опытных образцов виноматериалов сухих белых из винограда протоклонов сорта Рислинг, ст-ца Тамань
Table 9 – Organoleptic characteristics of dry white wine materials made from Riesling grape protoclones, Taman village

Протоклон / Protoclone	Органолептическая характеристика / Organoleptic characteristics	Балл / Unit
РЮЧ 38-67	Прозрачное, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат фруктовый с легкими цветочными оттенками, вкус свежий, с цветочными оттенками в послевкусии / Transparent, without sediment and foreign inclusions, light straw color, fruity aroma with light floral notes, fresh taste with floral notes in the aftertaste	7,75
РЮЧ 39-39	Прозрачное, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат чистый, сортовой с тонами меда, сливочными оттенками, вкус чистый, мягкий, гармоничный, умеренно свежий / Transparent, without sediment and foreign inclusions, light straw color, pure, varietal aroma with honey tones, creamy notes, pure, soft, harmonious taste, moderately fresh	7,75
РЮЧ 18-36	Прозрачное, без осадка и посторонних включений, цвет светло-соломенный, аромат чистый, тонкий, раскрывающийся с сырными и травянистыми оттенками, вкус чистый, свежий / Transparent, with no sediment or foreign particles, light straw color, pure and delicate aroma with hints of cheese and herbs, fresh and clean taste	7,78
$НСР_{05}$		0,19

При близких органолептических значениях испытываемых протоклонов корреляционный анализ показал прямую тесную зависимость качества виноматериалов от количества урожая винограда. По данным рисунка 3 при повышении урожайности винограда до 20 т/га дегустационная оценка остается высокой. Наиболее тесная связь установлена у протоклонов РЮЧ 18-36 и РЮЧ 39-39. Коэффициент корреляции составляет 0,91 и 0,81 соответственно. Полученные данные в полевом опыте показывают, что у испытываемых протоклонов сорта Рислинг качество виноматериалов не снижается даже при максимально высокой урожайности винограда – 20 т/га. Для установления пороговой урожайности, при которой качество вина начинает снижаться, исследования необходимо продолжить.

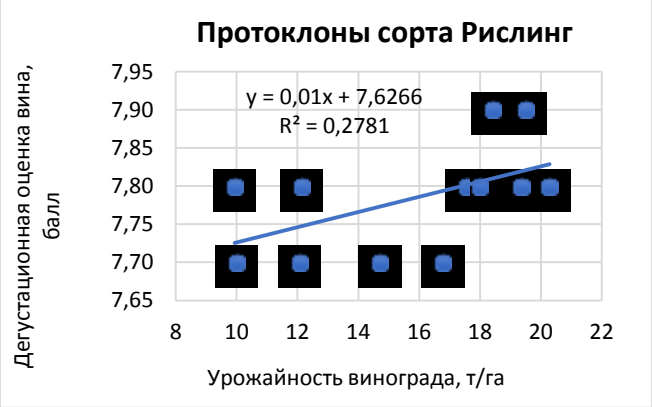


Рисунок 3 – Влияние урожайности винограда протоклонов сорта Рислинг на органолептические свойства виноматериалов
Figure 3 – The effect of the grape yield of the protoclones of the Riesling variety on the organoleptic properties of wine materials

Заключение. Длительные исследования протоклонов всемирно признанных сортов винограда Алиготе, Шардоне и Рислинг позволили выделить генотипы превосходящие аналоги по стабильности плодоношения, продуктивности винограда и качеству вина в изменчивых агроэкологических условиях юга России.

В условиях повышенной солнечной инсоляции, перепада температур воздуха в период вегетации и дефицита атмосферных осадков на всех этапах изучения сохранялись стабильно высокая продуктивность винограда у протоклонов ЗА 11-79-37 сорта Алиготе, ЗШ 137-44 сорта Шардоне, РЮЧ 38-67 сорта Рислинг и высокое качество вина. В среднем за период исследований в двух поколениях урожайность у ЗА 11-79-37 составляла 11,87 т/га, ЗШ 137-44 – 8,90 т/га и РЮЧ 38-67 – 11,45 т/га, что выше, чем у контрольных аналогов на 24; 8 и 19 %, соответственно. Дегустационная оценка у ЗА 11-79-37 соответствовала 7,78 баллов, ЗШ 137-44 – 8,08 балла и РЮЧ 38-67 – 7,75 баллов.

Стабильно высокие показатели продуктивности винограда и высокое качество виноматериалов выделенных протоклонов позволяют рекомендовать их для улучшения сортимента, создания устойчивых высокоадаптивных и продуктивных насаждений, устойчивого производства винограда и качественных вин в условиях изменения умеренно континентального климата юга России.

Conclusion. Long-term studies of the protoclones of the internationally recognized Aligote, Chardonnay and Riesling grape varieties have made it possible to identify genotypes superior to their counterparts in terms of fruiting stability, grape productivity and wine quality in the volatile agroecological conditions of southern Russia.

In conditions of increased solar insolation, air temperature differences during the growing season and a deficit of precipitation, at all stages of the study, the grapes of the ZA 11-79-37 Aligote grape varieties, the ZSH 137-44 Chardonnay grape variety, the RUCH 38-67 Riesling grape variety and the high quality of the wine remained stable. On average, during the study period in two generations, the yield of wheat for ZA 11-79-37 was 11.87 t/ha, wheat ZSH 137-44 – 8.90 t/ha and wheat RUCH 38-67 – 11.45 t/ha, which is higher than that of control analogues by 24; 8 and 19 %, respectively. The tasting score for ZA 11-79-37 corresponded to 7.78 points, ZSH 137-44 – 8.08 points and RUCH 38-67 – 7.75 points.

Consistently high rates of grape productivity and high quality of the wine materials of the selected protoclones allow us to recommend them for improving the assortment, creating sustainable highly adaptive and productive plantings, sustainable production of grapes and high-quality wines in the conditions of changing temperate continental climate in southern Russia.

Библиографический список

1. Марморштейн А. А., Ильницкая Е. Т., Алейникова Г. Ю. Динамика экстремальных для виноградарства климатических показателей в основных зонах размещения ампелоценозов краснодарского края. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 3 (72). С. 73-84.
2. Рыбалко Е. А., Червяк С. Н. Климатические факторы, характеризующие влагообеспеченность территории, и их влияние на качественные показатели винограда. Сибирский журнал естественных наук и сельского хозяйства. 2023. № 15 (6). С. 148-164.
3. Doupis G. et al. The effects of drought and supplemental UV-B radiation on physiological and biochemical traits of the grapevine cultivar “Soultanina”. Oeno One. 2020. № 54 (4). Pp. 687-698.
4. Shoaib N. et al. Potential of UV-B radiation in drought stress resilience: A multidimensional approach to plant adaptation and future implications. Plant, Cell & Environment. 2024. № 47 (2). Pp. 387-407.
5. Van Leeuwen C., Darriet P. The impact of climate change on viticulture and wine quality. Journal of Wine Economics. 2016. V. 11. № 1. Pp. 150-167.
6. Петров В. С. и др. Адаптивная фенологическая реакция автохтонных сортов винограда на изменения погодно-климатических условий юга России. Магарач. Виноградарство и виноделие. 2020. № 22 (3). С. 210-215.
7. Ганич В. А., Наумова Л. Г., Новикова Л. Ю. Анализ влияния агротехники и климата на интродуцированные сорта винограда на Донской ампелографической коллекции. Вестник КрасГАУ. 2023. № 10. С. 70-81.
8. Ali F. et al. Climate change impact on plant pathogen emergence: artificial intelligence (AI) approach. Plant quarantine challenges under climate change anxiety. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. Pp. 281-303.
9. Scutărăşu A. et al. Assessment of the adaptability of the grapevine and the quality of wine depending on the climatic conditions. 2026.
10. Drappier J. et al. Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming. Critical reviews in food science and nutrition. 2019. V. 59. № 1. Pp. 14-30.
11. Tofalo R., Rossetti A. P., Perpetuini G. Climate change and wine quality. Climate-Resilient Agriculture, Vol 1: Crop Responses and Agroecological Perspectives. Cham: Springer International Publishing, 2023. Pp. 157-177.
12. Cardell M. F., Amengual A., Romero R. Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. Regional Environmental Change. 2019. V. 19. № 8. Pp. 2299-2310.
13. Van Leeuwen C. et al. Climate change impacts and adaptations of wine production. Nature Reviews Earth & Environment. 2024. V. 5. № 4. Pp. 258-275.
14. Ollat N., Touzard J. M., van Leeuwen C. Climate change impacts and adaptations: new challenges for the wine industry. Journal of Wine Economics. 2016. V. 11. № 1. Pp. 139-149.
15. Van Leeuwen C., Destrac-Irvine A. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. Oeno One. 2017. V. 51. № 2-3. Pp. 147-154.
16. Alikadic A. et al. The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: regional study. Agricultural and forest meteorology. 2019. V. 271. Pp. 73-82.

17. Клименко В. П. Генетическая интерпретация клоновой селекции винограда. Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. № 21 (4). С. 282-288.
18. Петров В. С., Алейникова Г. Ю., Марморштейн А. А. Методы исследований в виноградарстве. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2021. 147 с.
19. Callipo P. et al. Harnessing clonal diversity in grapevine: from genomic insights to modern breeding applications. Theoretical and Applied Genetics. 2025. № 138 (8). Art. 196.
20. Procino S. et al. Genome Scan Analysis for Advancing Knowledge and Conservation Strategies of Primitivo Clones (Vitis vinifera L.). Plants. 2025. № 14. Art. 437.
21. Miazzi M. et al. (2024). The IVC breeding program: development of new seedless table grapevines for a sustainable viticulture. Acta Horticulturae. 2024. Pp. 59-64.
22. Mairata A. et al. Comparison of selection criteria for the selection of vine clones by water use efficiency. Agronomy. 2022. Vol. 12. N. 8. Art. 1963.
23. Фейзуллаев Б. А. Агробиологическая оценка сорта-клона винограда Аг изюм урожайный в условиях южного Дагестана. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2024. № 90 (6). С. 25-34.
24. Студенникова Н. Л., Котоловець З. В., Авидзба А. М., Лиховской В. В. Изучение протоклонов первого вегетативного поколения сорта винограда Цитронный Магарача. «Магарач». Виноградарство и виноделие. 2022. № 24 (4). С. 308-314.

References

1. Marmorshtein A. A., Ilnitskaya E. T., Aleynikova G. Yu. The dynamics of extreme climatic indicators for viticulture in the main zones of ampelocenosis of the Krasnodar territory. Bulletin of NGAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024. No. 3 (72). Pp. 73-84.
2. Rybalko E. A., Chervyak S. N. Climatic factors characterizing the moisture supply of the territory and their influence on the quality indicators of grapes. Siberian Journal of Natural Sciences and Agriculture. 2023. No. 15 (6). Pp. 148-164.
3. Doupis G. et al. The effects of drought and supplemental UV-B radiation on physiological and biochemical traits of the grapevine cultivar “Soultanina”. Oeno One. 2020. № 54 (4). Pp. 687-698.
4. Shoaib N. et al. Potential of UV-B radiation in drought stress resilience: A multidimensional approach to plant adaptation and future implications. Plant, Cell & Environment. 2024. № 47 (2). Pp. 387-407.
5. Van Leeuwen C., Darriet P. The impact of climate change on viticulture and wine quality. Journal of Wine Economics. 2016. V. 11. № 1. Pp. 150-167.
6. Petrov V. S. et al. Adaptive phenological reaction of autochthonous grape varieties to changes in the weather and climatic conditions of southern Russia. The magician. Viticulture and winemaking. 2020. No. 22 (3). Pp. 210-215.
7. Ganich V. A., Naumova L. G., Novikova L. Yu. Analysis of the influence of agricultural technology and climate on introduced grape varieties in the Don ampelographic collection. Bulletin of KrasSAU. 2023. No. 10. Pp. 70-81.
8. Ali F. et al. Climate change impact on plant pathogen emergence: artificial intelligence (AI) approach. Plant quarantine challenges under climate change anxiety. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. Pp. 281-303.
9. Scutărăşu A. et al. Assessment of the adaptability of the grapevine and the quality of wine depending on the climatic conditions. 2026.
10. Drappier J. et al. Relationship between wine composition and temperature: Impact on Bordeaux wine typicity in the context of global warming. Critical reviews in food science and nutrition. 2019. V. 59. № 1. Pp. 14-30.
11. Tofalo R., Rossetti A. P., Perpetuini G. Climate change and wine quality. Climate-Resilient Agriculture, Vol 1: Crop Responses and Agroecological Perspectives. Cham: Springer International Publishing, 2023. Pp. 157-177.
12. Cardell M. F., Amengual A., Romero R. Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. Regional Environmental Change. 2019. V. 19. № 8. Pp. 2299-2310.
13. Van Leeuwen C. et al. Climate change impacts and adaptations of wine production. Nature Reviews Earth & Environment. 2024. V. 5. № 4. Pp. 258-275.
14. Ollat N., Touzard J. M., van Leeuwen C. Climate change impacts and adaptations: new challenges for the wine industry. Journal of Wine Economics. 2016. V. 11. № 1. Pp. 139-149.
15. Van Leeuwen C., Destrac-Irvine A. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. Oeno One. 2017. V. 51. № 2-3. Pp. 147-154.
16. Alikadic A. et al. The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: regional study. Agricultural and forest meteorology. 2019. V. 271. Pp. 73-82.
17. Klimenko V. P. Genetic interpretation of clone grape breeding. The Magarach. Viticulture and winemaking. 2019. No. 21 (4). Pp. 282-288.
18. Petrov V. S., Aleynikova G. Yu., Marmorshtein A. A. Research methods in viticulture. Krasnodar, 2021. 147 p.
19. Callipo P. et al. Harnessing clonal diversity in grapevine: from genomic insights to modern breeding applications. Theoretical and Applied Genetics. 2025. № 138 (8). Art. 196.
20. Procino S. et al. Genome Scan Analysis for Advancing Knowledge and Conservation Strategies of Primitivo Clones (Vitis vinifera L.). Plants. 2025. № 14. Art. 437.
21. Miazzi M. et al. (2024). The IVC breeding program: development of new seedless table grapevines for a sustainable viticulture. Acta Horticulturae. 2024. Pp. 59-64.
22. Mairata A. et al. Comparison of selection criteria for the selection of vine clones by water use efficiency. Agronomy. 2022. Vol. 12. N. 8. Art. 1963.
23. Feyzullaev B. A. Agricultural and biological assessment of the clone grape variety AG raisins in the conditions of southern Dagestan. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2024. No. 90 (6). Pp. 25-34.
24. Studennikova N. L., Kotolovets Z. V., Avidzba A. M., Likhovskoi V. V. Study of protoclones of the first vegetative generation of the Citron Magaracha grape variety. The Magarach. Viticulture and winemaking. 2022. No. 24 (4). Pp. 308-314.

Информация об авторах

Петров Валерий Семенович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия (Российская Федерация, 350901, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39), e-mail: petrov_53@mail.ru

Шелудько Ольга Николаевна, доктор технических наук, доцент, заведующий научным центром «Виноделие», Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия (Российская Федерация, 350901, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39), e-mail: scheludcko.olga@yandex.ru

Антонян Анна Кареновна, младший научный сотрудник, магистр садоводства, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия (Российская Федерация, 350901, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39), e-mail: annantonian2001@gmail.com

Христенко Полина Алексеевна, лаборант-исследователь, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия (Российская Федерация, 350901, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39), e-mail: khristenko.polina@mail.ru

Authors' Information

Petrov Valery Semenovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor**,** Leading Researcher, North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking (Russian Federation, 350901, Krasnodar, 40-Letiya Pobedy Str., 39), e-mail: petrov_53@mail.ru

Sheludko Olga Nikolaevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Winemaking Research Center, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking (Russian Federation, 350901, Krasnodar, 40-Letiya Pobedy Str., 39), e-mail: scheludcko.olga@yandex.ru

Antonyan Anna Karenovna, Junior Researcher, Master of Horticulture, North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking (Russian Federation, 350901, Krasnodar, 40-Letiya Pobedy Str., 39), e-mail: annantonian2001@gmail.com

Khristenko Polina Alekseevna, Laboratory Researcher, North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking (Russian Federation, 350901, Krasnodar, 40-Letiya Pobedy Str., 39), e-mail: khristenko.polina@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-11

THE SUNFLOWER CROPS' WATER CONSUMPTION IN THE VOLGA-DON INTERFLUVE

[1]Petrov N. Yu., [1]Kuznetsov Yu. V., [2]Solodovnikov A. P., [2]Denisov K. E., [1]Gorbacheva A. S., [1]Chapko D. V.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 17.06.2026 Submitted 21.07.2026

Abstract

Introduction. Sunflower occupies a leading place among oilseeds in terms of sown area. He rightfully owns the main unit for the production of vegetable oil. But despite the fact that in the Volgograd region it occupies about 1 million hectares, its yield remains at a fairly low level, barely exceeding 1.0 t/ha. The main limiting factor in the conditions of aridity of the Volga-Don interfluve is the lack of water supply for sunflower crops. In this regard, it is necessary to constantly search for hybrids with adaptive resistance to adverse weather conditions. **The object.** In the conducted variety testing for the water consumption of modern hybrids, three hybrids were studied: Bella (as a control), and modern hybrids of Immi and Margaret KLP. The sowing rate for this zone was 55 thousand germinating seeds per hectare. **Materials and methods.** Field experiments were conducted on the territory of Elion-Agro LLC, located in the Uryupinsky district of the Volgograd region on chestnut soil in 2024-2025. The research program was designed to obtain estimated yields of sunflower oilseeds of 1.0, 2.0 and 3.0 t/ha. **Results and conclusions.** The experiment showed that the water supply of sunflower crops occupies a predominant place in arid conditions. But in order to obtain a guaranteed high-quality harvest, optimal mineral nutrition is also required. A peculiar balance is established between them, that is, the lack of one element necessarily entails increased consumption of another factor. As a result, the maximum water consumption was noted in the variants without the use of mineral nutrition, the available moisture reserves were smaller and amounted to a layer of 0.00-0.50 m – 60.9 mm, and in the application variant $N_{77}P_{35}K_{154}$ – 62.1 mm. As the result, the coefficient of water consumption in the control variant was for the hybrids: Bella – 139 mm, Immi – 132 and Margaret KLP – 134 mm. The lowest water consumption coefficient was obtained on the $N_{77}P_{35}K_{154}$ variant and it was equal to the Bell – 109 mm hybrid, the Immi – 101 hybrid and the Margaret KLP – 105 mm hybrid.

Keywords: *sunflower hybrids, soil conditions for sunflower cultivation, and sunflower cultivation technologies.*

Citation. Petrov N. Yu., Kuznetsov Yu. V., Solodovnikov A. P., Denisov K. E., Gorbacheva A. S., Chapko D. V. The sunflower crops' water consumption in the Volga-Don interfluve. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 110-115 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-11.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 633.854.78:631.671

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ В ПОСЕВАХ ПОДСОЛНЕЧНИКА В ВОЛГО-ДОНСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

[1]Петров Н. Ю., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]Кузнецов Ю. В., *доктор технических наук, доцент*
[2]Солодовников А. П., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]Денисов К. Е., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]Горбачева А. С., *кандидат экономических наук, доцент*
[1]Чапко Д. В., *соискатель*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова»
г. Саратов, Российская Федерация

Аннотация. Подсолнечник занимает ведущее место среди масличных культур по площади посева. Ему по праву принадлежит основное место в производстве растительного масла. Несмотря на то что в условиях Волгоградской области он занимает порядка 1 млн гектаров, его урожайность остается на довольно низком уровне, едва превышая 1,0 т/га. Основным лимитирующим фактором в условиях засушливости Волго-Донского междуречья является дефицит водообеспеченности посевов подсолнечника. В этой связи необходим постоянный поиск гибридов, обладающих адаптивной устойчивостью к неблагоприятным погодным условиям. **Объект.** В проведенном сортоиспытании по водопотреблению изучались три гибрида: Белла (в качестве контроля), а также современные гибриды Имми и Маргарет КЛП. Норма посева составляла для данной зоны, 55 тыс. всхожих семян на гектар. **Материалы и методы.** Полевые опыты были проведены на территории ООО «Элион-Агро», находящегося в Урюпинском районе Волгоградской области на каштановых почвах в 2024-2025 гг. Программа исследований была рассчитана на получение расчетной урожайности маслосемян подсолнечника 1,0; 2,0 и 3,0 т/га. **Результаты и выводы.** Проведенный эксперимент показал, что водообеспечение посевов подсолнечника занимает преобладающее место в засушливых условиях. Однако для получения гарантированного урожая высокого качества требуется также оптимальное минеральное питание. Устанавливается своеобразный баланс между ними: то есть – нехватка одного элемента непременно влечет за собой усиление потребления другого фактора. В результате максимальное водопотребление было отмечено на вариантах без применения минерального питания запасы доступной влаги были в меньших размерах и составляли в слое 0,00-0,50 м – 60,9 мм, а на варианте внесения $N_{77}P_{35}K_{154}$ – 62,1 мм. В результате коэффициент водопотребления на контрольном варианте составил по гибридам: Белла – 139 мм, Имми – 132 мм и Маргарет КЛП – 134 мм. Наименьший коэффициент водопотребления был получен на варианте $N_{77}P_{35}K_{154}$ и он равнялся по гибриду Белла – 109 мм, гибриду Имми – 101 мм и гибриду Маргарет КЛП – 105 мм.

Ключевые слова: *гибриды подсолнечника, почвенные условия возделывания подсолнечника, технологии возделывания подсолнечника.*

Цитирование. Петров Н. Ю., Кузнецов Ю. В., Солодовников А. П., Денисов К. Е., Горбачева А. С., Чапко Д. В. Водопотребление в посевах подсолнечника в Волго-Донском междуречье. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 110-115. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-11.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке программы, планирования 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. Полученные Г. А. Медведевым и Д. Е. Михальковым (2024) данные свидетельствуют, что «подсолнечник занимает приоритетное место в ассортименте масличных культур, возделываемых в сельскохозяйственном производстве России, а Южный федеральный округ является лидером по площадям посевов и производству данной культуры. В Волгоградской области посевным площадям подсолнечника еще требуется оптимальное минеральное питание для получения растительного масла. Современные рыночные реалии отражают экономическую востребованность культуры, в связи с чем характерна тенденция возрастания ареала и площадей ее возделывания в разных природно-климатических и ландшафтных условиях» [5, 6].

В то же время, основываясь на данных Минсельхоза, «урожайность подсолнечника за 2012-2024 гг. в среднем изменялась в пределах 1,2-2,3 т/га, что значительно ниже потенциальной продуктивности культуры. При этом на эрозионно-опасных землях данный показатель был еще ниже» [1, 7].

По мнению В. Н. Чурзина, О. А. Дубровченко и др. (2020) «важным элементом технологии возделывания подсолнечника, позволяющим существенно повысить его продуктивность, является изучение динамики водопотребления в период вегетации» [2, 3].

Многолетние исследования в зоне недостаточного увлажнения установили, что «получение высоких урожаев подсолнечника в севооборотах различных конструкций возможно при внесении средней ($N_{40}P_{60}$) и повышенной ($N_{80}P_{60}$) доз минеральных удобрений. Это позволило повысить урожайность культуры на 2,67 и 2,65 т/га соответственно, что на 15,2 % больше, чем на контрольном варианте. Отзывчивость подсолнечника на высокую дозу удобрений ($N_{80}P_{120}$) оказалась несколько ниже, чем при средней и повышенной дозах внесения, составив 2,62 т/га от контроля» [5, 8, 11].

В целом актуальность исследований, отраженных в данной статье, направлена на необходимость разработки и совершенствования агротехнических приемов, способствующих накоплению и рациональному использованию влаги в каштановых почвах с учётом внесения минеральных удобрений, направленных на оптимизацию водно-физических показателей и повышение продуктивности подсолнечника, а также на снижение и рационализацию фона минерального питания

Материалы и методы. Полевой опыт был проведен на полях ООО «Элион-Агро», в Урюпинском районе Волгоградской области, в каштановой зоне.

Содержание гумуса в пахотном горизонте почвы составляло 2,24 %, подвижного фосфора – 18,3-19,7 мг/кг, подвижного калия – 310-335 мг/кг, гидролизуемого азота – 51,6-63,8 мг/кг. Испытывались три гибрида: Белла (контроль), Имми и Маргарет КЛП. Норма посева составляла рекомендованную для данной зоны – 55 тыс. всхожих семян на гектар. Повторность опыта – четырехкратная. Способ высева – пунктирный (сеялка Moonset), междурядье 0,70 м. Площадь учетной делянки – 140 м^2 (25,0 м х 5,6 м).

Минеральные удобрения применялись следующим образом: вся доза фосфорно-калийного питания вносилась осенью под зяблевую вспашку. Азот применяли дробно: 50 % – весной под первую культивацию, остальные 50 % – под основную обработку осенью.

Результаты исследований и обсуждение. Анализ имеющегося литературного материала показал, что «…в каштановой почве Волгоградской области пополнение агропочвенных запасов воды за счет осадков, которые выпадали во время всего вегетационного периода, значительно мало для формирования устойчивого урожая подсолнечника. Следовательно, высокая продуктивность растений в подобных обстоятельствах способна быть обеспечена только при достаточном и своевременном обеспечении их влагой за счет атмосферных осадков.

В условиях острозасушливого климата Нижнего Поволжья состояние водного баланса почвы тесно связано с применением минеральных удобрений. Атмосферные осадки при возделывании подсолнечника хоть и оказывают влияние на формирование водного режима почвы, однако их значимость сравнительно мала» [2, 3]. Водообеспеченность подсолнечника в годы исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Запасы влаги и влажность почвы в посевах подсолнечника среднее за 2024-2025 гг.
Table 1 – Moisture reserves and soil moisture in sunflower crops average for 2024-2025

Показатель / Indicator	Вариант / Option			
	контроль / control	$N_{38}P_{17}K_{77}$	$N_{77}P_{35}K_{154}$	$N_{115}P_{52}K_{231}$
Горизонт 0,00-0,50 м / Soil layer is 0.00-0.50 m				
Влажность почвы, % от абсол. сух. / Soil moisture, % of absolute dry	20,0	19,3	20,0	20,5
Общие запасы влаги / Total moisture reserves	129,1	129,4	130,4	129,3
Запасы доступной влаги / Available moisture reserves	60,9	61,1	62,1	62,0
Горизонт 0,50-1,00 / Soil layer 0,50-1,00				
Влажность почвы, % от абсол. сух. / Soil moisture, % of absolute dry.	19,1	19,3	19,6	19,2
Общие запасы влаги / Total moisture reserves	120,6	120,6	121,5	121,6
Запасы доступной влаги / Available moisture reserves	57,9	57,9	58,4	58,2
Запасы доступной влаги 0,00-1,00 / Available moisture reserves 0.00-1.00	118,8	119,0	120,5	120,2

В 2024 году в период вегетации выпало 136,5 мм осадков. Осадки выпадали крайне неравномерно. В 2025 году за период вегетации подсолнечника выпало 190,7 мм. Причем осадки выпадали в самый необходимый период вегетации подсолнечника. Следует отметить, что в первой декаде мая наблюдались заморозки: в течение 3 суток в ночное и утреннее время температура окружающего воздуха находилась в диапазоне от -2 до -5 °С. Это практически не отразилось на развитии растений подсолнечника, так как в это время они находились в стадии прорастания. В июне наблюдалась прохладная погода, лишь в отдельные дни температура воздуха превышала +25,0 °С.

В результате проведенного эксперимента удалось установить, что на варианте без применения минерального питания запасы доступной влаги в слое 0,00-1,00 м были минимальными и составляли 118,8 мм. При внесении минерального питания в дозе $N_{115}P_{52}K_{231}$ содержание доступной влаги повышалось до 120,2 мм.

Полученные данные по запасам влаги в весенний период по годам исследований легли в основу структурного анализа суммарного водопотребления, показатели которого отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели суммарного водопотребления в посевах подсолнечника, среднее за 2024-2025 гг.

Table 2 – Indicators of total water consumption in sunflower crops, average for 2024-2025

Показатель / Indicator	Вариант / Option			
	контроль / control	$N_{38}P_{17}K_{77}$	$N_{77}P_{35}K_{154}$	$N_{115}P_{52}K_{231}$
Гибрид Белла / Bella Hybrid				
Запасы доступной влаги 1 м / Available moisture reserves, 1 м	118,9	119,0	120,5	120,2
Выпавшие осадки за вегетацию, мм / Precipitation during the growing season, mm	163,4	163,4	163,4	163,4
Запасы доступной влаги после уборки, мм / Reserves of available moisture after harvesting, mm	15,9	17,4	22,7	20,8
Суммарное водопотребление, мм / Total water consumption, mm	298,2	298,8	306,6	304,4
Коэффициент водопотребления, мм / Water consumption coefficient, mm	139	118	109	115
Гибрид Имми / Immy Hybrid				
Запасы доступной влаги 1 м / Available moisture reserves, 1 м	118,9	119,0	120,5	120,2
Выпавшие осадки за вегетацию, мм / Precipitation during the growing season, mm	163,4	163,4	163,4	163,4
Запасы доступной влаги после уборки, мм / Reserves of available moisture after harvesting, mm	19,2	22,3	24,8	23,6
Суммарное водопотребление, мм / Total water consumption, mm	301,5	304,7	308,7	307,2
Коэффициент водопотребления, мм / Water consumption coefficient, mm	132	114	101	109
Гибрид Маргарет КЛП / Margaret KLP Hybrid				
Запасы доступной влаги 1 м / Available moisture reserves, 1 м	118,9	119,0	120,5	120,2
Выпавшие осадки за вегетацию, мм / Precipitation during the growing season, mm	163,4	163,4	163,4	163,4
Запасы доступной влаги после уборки, мм / Reserves of available moisture after harvesting, mm	16,7	20,5	23,9	22,1
Суммарное водопотребление, мм / Total water consumption, mm	299,0	302,9	307,8	305,7
Коэффициент водопотребления, мм / Water consumption coefficient, mm	134	116	105	113

Было установлено, как минеральное питание, так и сортовые особенности гибридов влияли на водопотребление подсолнечника. Больше всего воды на формирование урожая потреблял гибрид Имми. На варианте внесения $N_{77}P_{35}K_{154}$ коэффициент водопотребления равнялся 101 мм. Дальнейшее улучшение агрофона до $N_{115}P_{52}K_{231}$ не способствовало экономии воды.

Меньше всего воды на формирование урожая тратил гибрид Белла, где на варианте без применения удобрений коэффициент водопотребления составлял 139 мм, а при внесении $N_{77}P_{35}K_{154}$ – 109 мм.

Заключение. На основании полученных данных можно констатировать, что для северо-западной зоны каштановых почв можно рекомендовать товаропроизводителям гибрид Имми с внесением минеральных удобрений в дозе – $N_{77}P_{35}K_{154}$, что позволит получать гарантированный урожай маслосемян подсолнечника.

Conclusion. Based on the data obtained, it can be stated that for the northwestern zone of chestnut soil, the Immi hybrid can be recommended for use with the application of mineral fertilizers at a dose of $N_{77}P_{35}K_{154}$, which will ensure a guaranteed yield of sunflower seeds.

Библиографический список

1. Арсланов М., Гасанов Г. Н., Гаджиев К. М., Мирзаева Х. М. Динамика агрофизических показателей плодородия почвы в зернокормовых севооборотах Западного Прикаспия. Плодородие. 2023. № 5. С. 71-75.

2. Дрепа Е. Б., Власова О. И., Голубь А. С., Донец И. А. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства черноземов выщелоченных и урожайность подсолнечника. Земледелие. 2020. № 3. С. 18-20.

3. Дубовченко А. О., Чурзин В. Н. Урожайность гибридов подсолнечника в зависимости от влагообеспеченности посевов на черноземах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. Волгоградский ГАУ. 2020. № 1 (57). С. 159-167.

4. Дубровченко А. О. Водопотребление и урожайность в посевах гибридов подсолнечника на черноземах Волгоградской области. Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК РФ на основе конвергентных технологий: материалы Межд. научно-практ. конф. 2020. Т. 15. С. 496-501.

5. Медведев Г. А., Михальков Д. Е., Екатериничева Н. Г. Урожайность подсолнечника в различных системах возделывания на черноземах южных Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2024. № 4 (76). С. 35-46.

6. Медведев Г. А., Екатериничева Н. Г., Ткаченко А. В. Влияние приемов агротехники на урожайность подсолнечника в подзоне южных черноземов Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 74-82.

7. Петров Н. Ю., Кузнецова Е. А., Чапко Д. В. Минеральное питание – залог урожайности подсолнечника в Волгоградском регионе. Естественные науки. 2025. № 1 (18). С. 11-18.

8. Петров Н. Ю., Кузнецова Н. В., Некрасова Т. Н., Чапко Д. В. Возделывание подсолнечника в южном регионе. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 45-50.

9. Торчоков 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. Вып. 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 Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 4 (69). С. 69-74.

11. Medvedev G. A., Ivanov V. M., Filin V. I. The growth regulators influence on the sunflower productivity under the cultivation with innovative technologies in the Volgograd southern black soil areas. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 786. Pp. 1-5.

12. Sala C. A., Bulos M., Altieri E., Ramos M. Genetics and breeding of herbicide tolerance sunflower. Helia. 2012. V. 35. No 57. Pp. 57-70.

13. Vezzani F. M., Bearel M. H. The importance of plants in the development and maintenance of the soil structure, microbial communities and the ecosystem functions. Soil and Tillage Research. 2018. V. 175. Pp. 139-149.

References

1. Arslanov M., Hasanov G. N., Gadzhiev K. M., Mirzayeva H. M. Dynamics of agrophysical indicators of soil fertility in grain-feed crop rotations of the Western Caspian region. Fertility. 2023. No 5. Pp. 71-75.

2. Drepa E. B., Vlasova O. I., Golub A. S., Donets I. A. The influence of cultivation technology on the agrophysical properties of leached chernozems and sunflower yields. Agriculture. 2020. No. 3. Pp. 18-20.

3. Dubovchenko A. O., Churzin V. N. The yield of sunflower hybrids depending on the moisture availability of crops in the chernozems of the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and higher professional education. 2020. No. 1 (57). Pp. 159-167.

4. Dubrovchenko A. O. Water consumption and yield in sunflower hybrid crops in the chernozems of the Volgograd region. Optimization of agricultural land use and strengthening of the export potential of the agro-industrial complex of the Russian Federation on the basis of convergent technologies: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2020. V. 15. Pp. 496-501.

5. Medvedev G. A., Mikhalkov D. E., Yekaterinicheva N. G. Sunflower yield in various cultivation systems in the southern chernozems of the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher education. 2024. No. 4 (76) pp. 35-46.

6. Medvedev G. A., Yekaterinicheva N. G., Tkachenko A. V. The influence of agricultural techniques on sunflower yields in the southern chernozem subzone of the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2021. No. 1 (61). Pp. 74-82.

7. Petrov N. Yu., Kuznetsova E. A., Chapko D. V. Mineral nutrition is the key to sunflower yield in the Volgograd region. Natural sciences. 2025. No. 1 (18). Pp. 11-18.

8. Petrov N. Yu., Kuznetsova N. V., Nekrasova T. N., Chapko D. V. Sunflower cultivation in the southern region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2025. No. 2 (80). Pp. 45-50.

9. Torchokov H. S., Tutukova D. A., Kagermazova Z. M. The influence of certain agricultural elements of cultivation technology on the effectiveness of sunflower cultivation in the steppe zone of Kabardino-Balkaria. Oilseed crops. 2022. Issue 4 (192). Pp. 53-59.

10. Chamurliev O. G., Sidorov A. N., Kholod A. A., Chamurliev G. O. Study of the effectiveness of mineral fertilizers on sunflower in open ground irrigation in the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2022. No. 4 (69). Pp. 69-74.

11. Medvedev G. A., Ivanov V. M., Filin V. I. The growth regulators influence on the sunflower productivity under the cultivation with innovative technologies in the Volgograd southern black soil areas. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 786. Pp. 1-5.

12. Sala C. A., Bulos M., Altieri E., Ramos M. Genetics and breeding of herbicide tolerance sunflower. Helia. 2012. V. 35. No 57. Pp. 57-70.

13. Vezzani F. M., Bearel M. H. The importance of plants in the development and maintenance of the soil structure, microbial communities and the ecosystem functions. Soil and Tillage Research. 2018. V. 175. Pp. 139-149.

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

Кузнецов Юрий Владимирович, доктор технических наук, доцент, декан факультета, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Солодовников Анатолий Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект Петра Столыпина, 4/3).

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

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

Чапко Денис Валерьевич, соискатель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

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

Kuznetsov Yuri Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

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

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

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

Chapko Denis Valerievich, applicant, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-12

THE SYNERGISTIC APPROACH IN THE SPECIES DIVERSITY ASSESSING (THE EXAMPLE IS *CORYLUS AVELLANA* L.)

Sukhorukikh Yu. I., Biganova S. G., Kiyashkina E. O.

Maikop State Technological University
Maikop, Russian Federation

Corresponding author E-mail: drsuchor@rambler.ru

Received 15.02.2026 Submitted 24.04.2026

The research has been conducted within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Topic No. FZRG-2024-0012: Fundamental Patterns of Phytodiversity and Ecological Features of Mountain Forests in the Southern Russia).

Abstract

Introduction. A synergistic approach to methodology has demonstrated prospects in scientific research. **The aim of the research** is to propose a synergistic approach to assessing species diversity in forestry and related sciences. **The materials and methods.** The diversity of common hazel nuts in three sample plots (SP1-SP3) selected by three qualified researchers as model plots for diversity has been studied. The plots are located in the lower mountain zone of the Northwest Caucasus. Fruits have been assessed using the Sukhorukikh-Biganova method, and diversity indices have been assessed using established methods, replacing the number of species with the number of nuts with specific traits. **The results and conclusions.** The diversity of hazelnut indices in the sample plots was different and amounted to 0.25-0.93 according to the Sukhorukikh-Biganova index, 0.42-1.73 according to the Margalef index, 0.3-1.29 according to the Menkhinik index, 0.43-1.94 according to the Shannon index, 1.17-6.35 according to the polydominance indices,

and 1.13-4.21 according to the Berger-Parker index. The index values in the sample plots were ranked individually by indicator in ascending order and summed. Using a 10 % difference in the sum of ranks, no difference in diversity was found between SP1 and SP2 using the Sukhorukikh-Biganova, Shannon, polydominance, and Berger-Parker methods; between SP2 and SP3 using the Berger-Parker method; and between SP2-SP3 using the Menkhinik and Berger-Parker methods. Agreement between the final conclusion and the expert assessment was observed only with the synergistic approach. The synergistic approach demonstrated robustness, eliminated the ambiguity of conclusions from other methods, and can be used for diversity assessment.

Keywords: *Synergy, diversity indices, methods for assessing species diversity, and comparison of diverse indicators.*

Citation. Sukhorukikh Yu. I., Biganova S. G., Kiyashkina E. O. The synergistic approach in the species diversity assessing (the example is *Corylus avellana* L.). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 115-124 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-12.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*181.351:634.54

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ РАЗНООБРАЗИЯ ВИДА (НА ПРИМЕРЕ *CORYLUS AVELLANA* L.)

Сухоруких Ю. И., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Биганова С. Г., *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. Синергетический подход к методологии продемонстрировал перспективность в научных исследованиях**. Цель исследования** – предложить синергетический подход в оценке разнообразия вида в лесоводственных и смежных науках. **Материалы и методы.** Исследования проводились на основе изучения разнообразия орехов лещины обыкновенной на трех пробных площадях (ПП1-ПП3), выбранных тремя квалифицированными исследователями в качестве модельных по разнообразию. Объекты располагались в нижне-горной зоне Северо-Западного Кавказа. Плоды оценивались по методике Сухоруких-Бигановой, индексы разнообразия по известным методикам с заменой числа видов на количество орехов с определенными признаками. **Результаты и выводы.** Разнообразие показателей орехов лещины на пробных площадях отличалось и составило по индексам Сухоруких-Бигановой – 0,25-0,93, Маргалефа – 0,42-1,73, Менхиника – 0,3-1,29, Шеннона – 0,43-1,94, полидоминантности – 1,17-6,35, Бергера-Паркера – 1,13-4,21. Значения индексов на пробных площадях ранжировали отдельно по показателям в порядке возрастания и суммировали. По сумме рангов в 10 % различие в разнообразии не выявлено между ПП1 и ПП2 по методу Сухоруких-Бигановой, Шеннона, полидоминантности, Бергера-Паркера, между ПП2 и ПП3 – по методу Бергера-Паркера, ПП2-ПП3 – методу Менхиника и Бергера-Паркера. Совпадение итогового заключения с экспертной оценкой во всех случаях наблюдалось только при синергетическом подходе. Он продемонстрировал устойчивость, позволил исключить неоднозначность заключений других методик и его возможно использован для оценки разнообразия вида.

Ключевые слова: *синергетика, индексы разнообразия, методики оценки разнообразия видов, сравнение разноплановых показателей.*

Цитирование. Сухоруких Ю. И., Биганова С. Г., Кияшкина Е. О. Синергетический подход в оценке разнообразия вида (на примере *Corylus avellana* L.). *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 115-124. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-12.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. При проведении лесоводственных исследований нередко возникает проблема выделения участков, на которых вид имеет наибольшее разнообразие [1-3]. Это довольно сложная задача и у исследователей нет единого мнения о наиболее эффективных методиках оценки этого показателя [4, 5], поскольку они нередко дают противоречивые результаты [6]. Это не позволяет решить вопрос однозначно, и специалисты ориентируются на принятые для данного исследования разработки или собственные предпочтения [5-8].

Для оценки разнообразия предложено значительное количество методик [4, 9]. При оценке отдельного вида в них вместо численности таксономических единиц используют количество особей конкретных градаций изучаемого объекта [6]. Учитывая неоднозначность выводов, рекомендуется использовать несколько методов и делать заключение на основе их обобщений [9]. Также в литературе отмечается, что для сравнения разноплановых показателей возможно применять балльную [10] или ранговую оценку [6].

Наиболее часто исследователями для оценки разнообразия используются индексы Маргалефа, Менхиника, Шеннона, полидоминантности, Бергера-Паркера [4, 5]. Предложен модифицированный индекс разнообразия Сухоруких-Биганової, который нивелирует различия в численности градаций признаков при использовании относительной энтропии [11].

В современных исследованиях для выявления закономерностей предлагается использовать синергетический подход [12, 13] с учетом статистического анализа данных [14]. Его сущность заключается в комплексной оценке результатов, учитывающей разнонаправленность и многополярность методологических основ [12, 15]. Предполагается, что в будущем именно этому подходу будет уделено большое внимание в исследованиях [12] как многовариантному [13]. Данное направление уже реализовано в смежных с лесоводством науках – в агролесомелиорации [16], экологии [15] и других. Вместе с тем, несмотря на перспективность оно еще недостаточно разработано для оценки разнообразия отдельного вида и требует своего разрешения. Цель работы – предложить синергетический подход для оценки разнообразия вида в лесоводственных исследованиях и смежных областях – экологии, селекции, ботанике и др.

Материалы и методы исследования. С учетом целей работы из авторской базы данных на основе анализа места произрастания и лабораторных результатов три квалифицированных эксперта, имеющих значительный опыт в изучении лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.), единогласно выбрали три участка, где по их мнению имеется отличающееся по качественным, количественным селекционным показателям и их общей оценке разнообразие орехов вида. Участки распределились следующим образом – наибольшее разнообразие на ПП1, затем на ПП2 и ПП3. Опытные объекты изучались в нижне-горной части Северо-Западного Кавказа на территории Республики Адыгея. Пробная площадь ПП1 была заложена вдоль ручья в формации дуба Гартвиса (*Quercus hartwissiana* Stev.), произрастающего на аллювиальных почвах и на склоне балки в формации дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на серых лесных почвах (координаты центра 44.554323; 39.993359). Здесь собран для анализа 101 орех. Пробная площадь ПП2 находилась в формации дуба Гартвиса на темно-серых лесных почвах (координаты центра 44.364558; 40.415983), а ПП3 в формации дуба скального (*Quercus petraea* Liebl.) на серых лесных почвах (координаты центра 44.520273; 40.196714). Численность выборки на ПП2 – 131, на ПП3 – 113 орехов. Высота плодоносящих растений на ПП 1 варьировала от 4 до 12, ПП2 – от 4 до 10, ПП3 – от 3,5 до 7 м. Орехи отбирали в осенний период созревания по одному с куста случайным образом по маршрутным ходам протяженностью до 2 км на каждом участке. Плоды оценивались по известной методике Сухоруких-Биганової [8]. Индексы разнообразия определяли согласно рекомендациям [5], используя в формулах вместо численности видов количество орехов с определенными признаками [6, 11]. Индексы ранжировались в порядке возрастания отдельно для каждой методики. Обработку результатов осуществляли с использованием программы Microsoft Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение. Распределение орехов лещины обыкновенной по качественным показателям на пробных площадях представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение орехов лещины обыкновенной по качественных показателям на ПП1-ПП3
Table 1 – Distribution of common hazel nuts based on quality indicators for SP 1-SP 3

Категории показателей / Indicators categories	Количество плодов / Number of fruits					
	Шт. / Pcs	%	Шт. / Pcs	%	Шт. / Pcs	%
	ПП1 / SP1		ПП2 / SP2		ПП3 / SP3	
Цвет скорлупы / Shell color						
Землистый / Earthy color	1	0,99	1	0,76	8	7,08
Темный / Dark	24	23,76	37	28,24	30	26,55
Средний / Middle	44	43,56	61	46,56	49	43,36
Светлый / Light	32	31,68	32	24,43	26	23,01
Степень усилия при раскалываемости (крепость) скорлупы / The degree of effort required to crack the shell (strength)						
Большая / Large	0	0,01	3	2,29	0	0,01
С трудом / Formidably	14	13,86	30	22,90	16	14,16
Средняя / Average	44	43,56	75	57,25	74	65,48
Легкая / Light	43	42,57	23	17,56	23	20,35
Покрытие ядра шелухой / Covering the kernel with husk						
Сильное / Strong	7	6,93	14	10,69	4	3,54
Среднее / Average	18	17,82	26	19,85	18	15,93
Слабое / Weak	28	27,72	49	37,40	52	46,02
Без шелухи / Without husk	48	47,52	42	32,06	39	34,51
Степень повреждения ядра при раскалывании (неразрушаемость) / Degree of damage to the kernel during splitting (indestructibility)						
Сильная / Strong	4	3,96	1	0,76	0	0,01
Средняя / Average	16	15,84	5	3,82	5	4,42
Слабая / Weak	4	3,96	4	3,05	8	7,08
Цельное ядро / Whole kernel	77	76,24	121	92,37	100	88,49
Вкус ядра / Kernel taste						
Очень плохой / Very bad	1	0,99	0	0	0	0
Плохой / Bad	4	3,96	3	1,19	0	0
Посредственный / Moderate	25	24,75	13	9,92	8	7,08
Хороший / Good	56	55,45	81	61,83	44	38,93
Очень хороший / Very good	15	14,85	34	25,95	61	53,97

Данные таблицы 1 демонстрируют различное соотношение орехов по качественным показателям на изучаемых объектах. Наибольшее различие по цвету категории землистый наблюдается между ПП2 и ПП3 – 6,32 и категории светлый между ПП1 и ПП3 – 8,67 %. По степени усилия при раскалывании скорлупы наибольшее различие между ПП1 и ПП3 в категории средняя – 21,92 и легкая – 22,22 %, по степени покрытия ядра шелухой между ПП1 и ПП3 в категории слабое – 18,3, ПП1 и ПП2 в категории без шелухи – 15,46 %, по степени разрушения ядра между ПП1 и ПП2 в категориях средняя – 12,02 и цельное ядро – 16,13 %, вкусу ядра между ПП1 и ПП3 категории посредственный – 17,67, и очень хороший – 39,12, ПП2 и ПП3 в категории хороший – 22,9 %.

Распределение орехов лещины обыкновенной по количественным показателям на ПП1–ПП3 представлено в таблице 2.

Как следует из данных таблицы 2 наибольшее отличие по массе ореха наблюдается в категории мелкие на ПП1 и ПП2 – 6,05 %, между ПП1 и ПП3 по массе ядра в категориях очень мелкая – 6,05 и средняя – 8,46 %, выходу ядра в категории низкий между ПП2 и ПП3 – 8,67, категории средний между ПП1 и ПП 3 – 10,43 %, общему баллу в категориях средний между ПП1 и ПП2 – 19,29, а высокий между ПП1 и ПП3 – 16,96 %. Приведенные данные в таблицах1, 2 указывают на отличие разнообразия между селекционными показателями изучаемых объектов, что соответствует целям данной работы.

Таблица 2 – Распределение орехов лещины обыкновенной по количественным показателям на ПП1-ПП3
Table 2 – Distribution of common hazel nuts by quantity for SP 1-SP 3

Категории показателей / Indicators categories	Количество плодов / Number of fruits					
	Шт. / Pcs	%	Шт. / Pcs	%	Шт. / Pcs	%
	ПП1 / SP1		ПП2 / SP2		ПП3 / SP3	
Масса ореха / Nut weight						
Очень мелкие / Very small	4	3,96	5	3,82	1	0,88
Мелкие / Small	7	6,93	17	12,98	14	12,39
Средние / Middle	78	77,23	99	75,57	84	74,34
Крупные / Large	8	7,92	7	5,34	13	11,50
Очень крупные / Very large	4	3,96	3	2,29	1	0,88
Масса ядра / Kernel weight						
Очень мелкая / Very small	7	6,93	8	6,11	1	0,88
Мелкая / Small	12	11,88	16	12,21	11	9,73
Средняя / Middle	71	70,30	94	71,76	89	78,76
Крупная / Large	8	7,92	12	9,16	10	8,85
Очень крупная / Very large	3	2,97	1	0,76	2	1,77
Выход ядра / Kernel yield						
Очень низкий / Very low	5	4,95	3	2,29	2	1,77
Низкий / Low	12	11,88	16	12,21	4	3,54
Средний / Middle	69	68,32	93	70,99	89	78,75
Высокий / High	14	13,86	15	11,45	18	15,93
Очень высокий / Very high	1	0,99	4	3,05	0	0,01
Общий балл качества / Total score of the quality						
Очень низкий / Very low	6	5,94	0	0	0	0
Низкий / Low	21	20,79	11	8,41	5	4,43
Средний / Middle	63	62,38	107	81,67	79	69,90
Высокий / High	7	6,93	12	9,16	27	23,89
Очень высокий / Very high	4	3,96	1	0,76	2	1,77

Более объективно разнообразие может быть оценено по индексам с использованием соответствующих методик [6, 11]. Их значения и ранги для изучаемых показателей орехов лещины обыкновенной на ПП1-ПП3 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения индексов разнообразия и рангов селекционных показателей орехов лещины обыкновенной на ПП1-ПП3
Table 3 – Diversity index values and ranks of selection indicators of common hazel nuts for SP1-SP3

Пробные площади / Sample plots	Индексы/ранги / Indexes/ranks					
	Сухоруких-Биганової / Sukhorukikh-Biganova	Маргалефа / Margalef	Менхиника / Menkhinik	Шеннона / Shannon	Полидоминантности / Polydominance	Бергера-Паркера / Berger-Parker
1	2	3	4	5	6	7
Цвет скорлупы / Shell color						
ПП1 / SP1	0,8 / 17	0,65 / 12	0,4 / 12	1,11 / 10	2,94 / 12	2,3 / 12,5
ПП2 / SP2	0,79 / 15,5	0,62 / 6,5	0,35 / 5,5	1,09 / 9	2,85 / 11	2,15 / 10
ПП3 / SP3	0,89 / 26	0,63 / 9,5	0,38 / 9	1,24 / 14	3,22 / 14	2,31 / 14
Степень усилия при раскалываемости (крепость) скорлупы / The degree of effort required to crack the shell (strength)						
ПП1 / SP1	0,72 / 9	0,43 / 3	0,3 / 3	1 / 7	2,6 / 9	2,3 / 12,5
ПП2 / SP2	0,76 / 12	0,62 / 6,5	0,35 / 5,5	1,05 / 8	2,46 / 7	1,75 / 6
ПП3 / SP3	0,63 / 6	0,42 / 1,5	0,28 / 1,5	0,88 / 5	2,06 / 4	1,53 / 4
Покрытие ядра шелухой / Covering the kernel with husk						
ПП1 / SP1	0,87 / 24	0,65 / 12	0,4 / 12	1,2 / 13	3,01 / 13	2,1 / 9
ПП2 / SP2	0,93 / 27	0,62 / 6,5	0,35 / 5,5	1,29 / 15	3,47 / 15	2,67 / 17
ПП3 / SP3	0,82 / 19,5	0,63 / 9,5	0,38 / 9	1,14 / 12	2,84 / 10	2,17 / 11
Степень повреждения ядра при раскалывании (неразрушаемость) / Degree of damage to the kernel during splitting (indestructibility)						
ПП1 / SP1	0,54 / 3,5	0,65 / 12	0,4 / 12	0,75 / 3	1,65 / 3	1,31 / 3
ПП2 / SP2	0,25 / 1	0,62 / 6,5	0,35 / 5,5	0,34 / 1	1,17 / 1	1,08 / 1
ПП3 / SP3	0,31 / 2	0,42 / 1,5	0,28 / 1,5	0,43 / 2	1,27 / 2	1,13 / 2

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Вкус ядра / Kernel taste						
ПП1 / SP1	0,7 / 7	1,48 / 18	1,29 / 27	1,13 / 11	2,59 / 8	1,8 / 7
ПП2 / SP2	0,6 / 5	0,85 / 14	0,69 / 16	0,96 / 6	2,19 /5	1,62 / 5
ПП3 / SP3	0,54 / 3,5	0,49 / 4	0,38 / 9	0,87 / 4	2,26 / 6	1,85 / 8
Масса ореха / Nut weight						
ПП1 / SP1	0,78 / 14	1,52 / 19	0,80 / 21	1,72 / 20	4,72 / 21	3,16 / 22
ПП2 / SP2	0,82 / 19,5	1,64 / 21	0,79 / 19	1,80 / 23	4,97 / 22	3,28 / 23,5
ПП3 / SP3	0,79 / 15,5	1,69 / 23,5	0,85 / 22,5	1,73 / 21	4,66 / 20	2,83 / 18
Масса ядра / Kernel weight						
ПП1 / SP1	0,85 / 23	1,73 / 26	0,90 / 25	1,88 / 26	5,64 / 26	3,61 / 26
ПП2 / SP2	0,83 / 21,5	1,64 / 21	0,79 / 19	1,82 / 24	5,05 / 24	2,98 / 20
ПП3 / SP3	0,74 / 11	1,69 / 23,5	0,85 / 22,5	1,63 / 18	4,03 / 16	2,90 / 19
Выход ядра / Kernel yield						
ПП1 / SP1	0,81 / 18	1,73 / 26	0,90 / 25	1,79 / 22	4,50 / 19	2,40 / 15
ПП2 / SP2	0,83 / 21,5	1,64 / 21	0,79 / 19	1,83 / 25	5,06 / 25	3,28 / 23,5
ПП3 / SP3	0,71 / 8	1,27 / 15,5	0,66 / 14,5	1,57 / 16	4,19 / 18	3,05 / 21
Общий балл качества / Total score of the quality						
ПП1 / SP1	0,88 / 25	1,73 / 26	0,90 / 25	1,94 / 27	6,35 / 27	4,21 / 27
ПП2 / SP2	0,73 / 10	1,44 / 17	0,70 / 17	1,59 / 17	4,07 / 17	2,62 / 16
ПП3 / SP3	0,77 / 13	1,27 / 15,5	0,66 / 14,5	1,70 / 19	5,04 / 23	3,53 / 25

Данные таблицы 3 показывают значительное отличие величин индексов разнообразия и их рангов на пробных площадях в зависимости от метода для одних и тех же показателей. Так, значения индекса Сухоруких-Биганової изменяются в пределах 0,25-0,93, Маргалефа – 0,42-1,73, Менхиника – 0,3-1,29, Шеннона – 0,43-1,94, полидоминантности – 1,17-6,35, Бергера-Паркера – 1,13-4,21. Ранги индексов по цвету скорлупы на ПП3 изменяются от 9 до 26, по крепости скорлупы на ПП2 от 5,5 до 12, по наличию шелухи на ПП2 от 55,5 до 27, по неразрушаемости ядра на ПП1 от 3 до 12, вкусу ядра на ПП1 от 7 до 27, массы ореха на ПП3 от 15,5 до 23,5, массы ядра на ПП3 от 11 до 23,5, выходу ядра на ПП3 от 8 до 21, общему баллу на ПП3 от 13 до 25. Это указывает на неоднозначность результатов и целесообразность исследования синергетического подхода к оценке разнообразия изучаемых объектов.

Для соответствующих выводов следует изучить корреляцию индексов. Значения непараметрических коэффициентов корреляции Спирмена изучаемых показателей представлены в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Корреляция индексов разнообразия для качественных показателей орехов лещины
Table 4 – Correlation of diversity indices for quality indicators of hazelnuts

Значения коэффициентов корреляции Спирмена / Spearman correlation coefficient values						
Индексы / Indices	Сухоруких-Биганової / Sukhorukikh-Biganova	Маргалефа / Margalef	Менхиника / Menkhinik	Шеннона / Shannon	Полидоминантности / Polydominance	Бергера-Паркера / Berger-Parker
Сухоруких-Биганової / Sukhorukikh-Biganova	1,00	0,25	0,14	0,96*	0,96*	0,87*
Маргалефа / Margalef	0,25	1,00	0,95*	0,40	0,27	0,12
Менхиника / Menkhinik	0,14	0,95*	1,00	0,31	0,21	0,10
Шеннона / Shannon	0,96*	0,40	0,31	1,00	0,94*	0,83*
Полидоминантности / Polydominance	0,96*	0,27	0,21	0,94*	1,00	0,93*
Бергера-Паркера / Berger-Parker	0,87*	0,12	0,10	0,83*	0,93*	1,00

Таблица 5 – Корреляция индексов разнообразия для количественных показателей орехов лещины
Table 5 – Correlation of diversity indices for quantitative indicators of hazelnuts

Значения коэффициентов корреляции Спирмена / Spearman correlation coefficient values						
Индексы / Indices of	Сухоруких-Биганової / Sukhorukikh-Biganova	Маргалефа / Margalef	Менхиника / Menkhinik	Шеннона / Shannon	Полидоминантности / Polydominance	Бергера-Паркера / Berger-Parker
Сухоруких-Биганової / Sukhorukikh-Biganova	1,00	0,68*	0,59*	1,00	0,87*	0,30
Маргалефа / Margalef	0,68*	1,00	0,96*	0,68*	0,31	0,05
Менхиника / Menkhinik	0,59*	0,96*	1,00	0,59*	0,25	0,11
Шеннона / Shannon	1,00	0,68*	0,59*	1,00	0,87*	0,28
Полидоминантности / Polydominance	0,87*	0,31	0,25	0,87*	1,00	0,51
Бергера-Паркера / Berger-Parker	0,30	0,05	0,11	0,28	0,51	1,00

Примечание. * – значимая связь при α = 0,05.
Note. * – significant association at α = 0.05.

Данные таблиц 4, 5, показывают, что для качественных показателей в трех случаях из пяти достоверная связь в пределах 0,83-0,96 наблюдается между индексами (методами) Сухоруких-Биганової, Шеннона, Бергера-Паркера, полидоминантности. Индексы Менхиника и Маргалефа имеют только взаимную высокую связь – 0,95, а с остальными – связь недостоверна (0,1-0,31). Для количественных показателей достоверная связь выявлена между индексами Сухоруких-Биганової, Маргалефа, Менхиника, Шеннона, полидоминантности в пределах 0,59-1. Индекс Бергера-Паркера не имел достоверной связи с другими.

В данном случае результаты указывают на разнонаправленность применяемых методик. Это дает основание для рассмотрения синергетического подхода на основе статистической оценки действующих факторов [14] с использованием суммарной ранговой оценки [6, 11]. Заключение об отличии суммы индексов при отсутствии строгих статистических критериев возможно на основе сравнения по принципу больше-меньше или с использованием 10 % разницы [11]. Значения сумм рангов изменчивости на опытных объектах и их отличия на рекомендуемые 10 % представлены в таблице 6.

Согласно данным таблицы 6 сумма рангов качественных показателей орехов лещины соответствовала экспертной оценке при использовании методики Маргалефа, Менхиника, Шеннона, полидоминантности и синергетическом подходе. При использовании критерия отличия в 10 % экспертной оценке соответствовали только методики Маргалефа, Менхиника и синергетического подхода. По количественным показателям при сравнении по принципу больше-меньше экспертной оценке не соответствовали только методики Менхиника и Бергера-Паркера. При критериальном отличии в 10 % экспертной оценке соответствовал только метод, ориентированный на синергетический подход. Оценка разнообразия по всем показателям выявила соответствие экспертной оценке по принципу больше-меньше почти всех методик, за исключением Бергера-Паркера. Использование критерия отличия в 10 % установило соответствие экспертной оценки только методов Маргалефа и синергетического подхода.

Полученные результаты служат основанием для заключения о нецелесообразности применения изученных методов в качестве единственных при оценке разнообразии при более строгом подходе, основанном на 10 % отличии рангов. Синергетический подход продемонстрировал возможность оценки разнообразия вида при более строгом подходе в определенной степени исключая несогласованность методик.

Таблица 6 – Сумма рангов и их отличия (%) при оценке изменчивости орехов лещины обыкновенной на ПП1-ПП3

Table 6 – Sum of ranks and their differences (%) when assessing the variability of common hazel nuts for SP1-SP3

Пробные площади / Sample plots	Индексы / Indices						Синергетический подход / Synergetic approach
	Сухоруких-Биганової / Sukhorukikh-Biganova	Маргалефа / Margalef	Менхиника / Menkhinik	Шеннона / Shannon	Полидоминантности / Polydominance	Бергера-Паркера / Berger-Parker	
Суммы рангов по качественным показателям / Rank amounts by quality indicators							
ПП1 / SP1	60,5	57	66	44	45	44	316,5
ПП2 / SP2	60,5	40	38	39	39	39	255,5
ПП3 / SP3	57	26	30	37	36	39	225
Отличия по качественным показателям, % / Differences in quality indicators, %							
ПП1/ПП2 / SP1/SP2	0,00	29,82	42,42	11,36	13,33	11,36	19,27
ПП1/ПП3 / SP1/SP3	5,79	54,39	54,55	15,91	20,00	11,36	28,91
ПП2/ПП3 / SP2/SP3	5,79	35,00	21,05	5,13	7,69	0,00	11,94
Суммы рангов по количественным показателям / Rank amounts by quantitative indicators							
ПП1/ПП2 / SP1/SP2	80,00	97,00	96,00	95,00	93,00	90,00	551,00
ПП1/ПП3 / SP1/SP3	72,50	80,00	74,00	89,00	88,00	83,00	486,50
ПП2/ПП3 / SP2/SP3	47,50	78,00	74,00	74,00	77,00	83,00	433,50
Отличия по количественным показателям, % / Differences in quantitative indicators%							
ПП1/ПП2 / SP1/SP2	9,38	17,53	22,92	6,32	5,38	7,78	11,71
ПП1/ПП3 / SP1/SP3	40,63	19,59	22,92	22,11	17,20	7,78	21,32
ПП2/ПП3 / SP2/SP3	34,48	2,50	0,00	16,85	12,50	0,00	10,89
Суммы рангов по всем показателям / Rank amounts for all indicators							
ПП1 / SP1	140,50	154,00	162,00	139,00	138,00	134,00	867,50
ПП2 / SP2	133,00	120,00	112,00	128,00	127,00	122,00	742,00
ПП3 / SP3	104,50	104,00	104,00	111,00	113,00	122,00	658,50
Отличия по всем показателям, % / Differences in all indicators, %							
ПП1/ПП2 / SP1/SP2	5,34	22,08	30,86	7,91	7,97	8,96	14,47
ПП1/ПП3 / SP1/SP3	25,62	32,47	35,80	20,14	18,12	8,96	24,09
ПП2/ПП3 / SP2/SP3	21,43	13,33	7,14	13,28	11,02	0,00	11,25

Заключение. Для объективной оценки разнообразия видов целесообразно использовать несколько соответствующих методик. Однако в этом случае на одних и тех же объектах может наблюдаться неоднозначность итогового заключения и несогласованность методик. Исключить это возможно за счет синергетического подхода к оценке на основе ранжирования разноплановых индексов разнообразия. Объекты, имеющие большую сумму оценочных рангов, относят к наиболее разнообразным. При необходимости установления различий в разнообразии между объектами и отсутствии соответствующих критериев для этих целей предлагается использовать отличие по сумме рангов в 10 %. Синергетический подход позволяет исключить несогласованность методик и может быть использован для оценки разнообразия отдельного вида.

Conclusion. To objectively assess species diversity, it is advisable to use multiple relevant methodologies. However, this can lead to ambiguity in the final conclusion and inconsistency between methods for the same sites. This can be eliminated by using a synergistic assessment approach based on ranking different diversity indices. The objects with a higher sum of assessment ranks have

been considered the most diverse. When determining differences in diversity between sites and the lack of appropriate criteria, it has been suggested to use the 10 % difference in the sum of ranks, a standard deviation in ecology. This synergistic approach eliminates methodological inconsistencies and can be used to assess the diversity of a particular species.

Библиографический список

1. Кулаков Е. Е. и др. Оценка полиморфизма дуба черешчатого (Quercus robur) с помощью SSR-анализа. Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 4. С. 44-51.
2. Габибова А. Р., Гасайниева З. А., Залибеков М. Д. Оценка популяций редкого вида инжира обыкновенного (Ficuscarica L.) в аридных условиях Дагестана. Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 3 (88). С. 45-51.
3. Burbano-Girón J., Molina-Berbeo M. A. et al. An assessment of spatial conservation priorities for biodiversity attributes: Composition, structure, and function of Neotropical biodiversity. Biological Conservation. 2022. V. 265. Art. 109421.
4. Абдурахманов Г. М. и др. Анализ методов оценки биологического разнообразия. Юг России: экология, развитие. 2013. Т. 8. № 1. С. 97-110.
5. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста: монография. Сумы: Университетская книга, 2009. 263 с.
6. Сухоруких Ю. И., Биганова С. Г., Пчихачев Э. К. Изменчивость количественных показателей плодов ореха грецкого. Новые технологии. 2025. Т. 21. № 1. С. 179-190.
7. Лебедева Н. В. и др. География и мониторинг биоразнообразия. М.: НУМЦ, 2002. 432 с.
8. Биганова С. Г., Сухоруких Ю. И. Методические основы селекционной оценки качества плодов фундука (лещины). Актуальные вопросы науки и образования. 2025. № 2. С. 19-22.
9. Zinchenko T. D., Shitikov V. K., Rosenberg G. S. Assessment of Bottom River Communities in Considering the “Dark and Gray Diversity” of Species: Approaches to a Solution. Arid Ecosystems. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 527-534.
10. Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Мельник К. А. Биоэкология различных видов рода Gleditsia в агролесомелиоративных и озеленительных насаждениях. Известия НВ АУК. 2025. № 2 (80). С. 158-166.
11. Биганова С. Г. и др. Разнообразие орехов лещины обыкновенной (Corylus avellana L.) и прогноз встречаемости ее форм на Северо-Западном Кавказе. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 3 (375). С. 55-71.
12. Abramov Yu. F., Bondarenko O. V. Peculiarities of Pre-Synergetic and Synergetic Approaches to the Cognition of Existence. Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2014. V. 7. No. 11. Pp. 1965-1970.
13. Светлосанов В. А. и др. Прошлое, настоящее и будущее концепции устойчивого развития. Модельный аспект. Проблемы региональной экологии. 2021. № 1. С. 41-46.
14. Шаланов Н. В. и др. Статистическая интерпретация синергетики. Евразийское Научное Объединение. 2021. № 1-4 (71). С. 295-296.
15. Розенберг Г. С. Порядок - хаос, асимптотика – синергетика, классика – постнеклассика: взгляд эколога. Сложность. Разум. Постнеклассика. 2023. № 1. С. 5-17.
16. Ивонин В. М. Синергетика систем агролесомелиорации. Региональные геосистемы. 2023. Т. 47. № 1. С. 62-75.

References

1. Kulakov E. E. et al. Assessment of the polymorphism of the sweet cherry oak (Quercus robur) using SSR-analysis. Forest Bulletin. 2021. V. 25. No. 4. Pp. 44-51.
2. Gabibova A. R., Gasainieva Z. A., Zalibekov M. D. Assessment of the populations of the rare species of the common fig (Ficuscarica L.) in the arid conditions of Dagestan. Arid ecological systems. 2021. V. 27. No. 3 (88). Pp. 45-51.
3. Burbano-Girón J., Molina-Berbeo M. A. et al. An assessment of spatial conservation priorities for biodiversity attributes: Composition, structure, and function of Neotropical biodiversity. Biological Conservation. 2022. V. 265. Art. 109421.
4. Abdurakhmanov G. M. et al. Analysis of Methods for Assessing Biological Diversity. South of Russia: Ecology, Development. 2013. Vol. 8. No. 1. Pp. 97-110.
5. Zlobin Yu. A. Population Ecology of Plants: Current State, Growth Points: A Monograph. Sumy: University Book, 2009. 263 p.
6. Sukhorukikh Yu. I., Biganova S. G., Pchikhachev E. K. Variability of Quantitative Indicators of Walnut Fruits. New Technologies. 2025. Vol. 21. No. 1. Pp. 179-190.
7. Lebedeva N. V. et al. Geography and Monitoring of Biodiversity. Moscow: NUMC, 2002. 432 p.
8. Biganova S. G., Sukhorukikh Yu. I. Methodological Foundations of Selection Evaluation of Hazelnut (Philly) Fruit Quality. Actual Issues of Science and Education. 2025. No. 2. Pp. 19-22.
9. Zinchenko T. D., Shitikov V. K., Rosenberg G. S. Assessment of Bottom River Communities in Considering the “Dark and Gray Diversity” of Species: Approaches to a Solution. Arid Ecosystems. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 527-534.
10. Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Melnik K. A. Bioecology of various species of the genus Gleditsia in agroforestry and landscaping plantations. Proceedings of the NV AUC. 2025. No. 2 (80). Pp. 158-166.
11. Biganova S. G. et al. Diversity of common hazel nuts (Corylus avellana L.) and prediction of the occurrence of its forms in the North-Western Caucasus. News of higher educational institutions. Forest magazine. 2020. No. 3 (375). Pp. 55-71.
12. Abramov Yu. F., Bondarenko O. V. Peculiarities of Pre-Synergetic and Synergetic Approaches to the Cognition of Existence. Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2014. V. 7. No. 11. Pp. 1965-1970.
13. Svetlosanov V. A. et al. The Past, Present, and Future of the Concept of Sustainable Development. A Model Aspect. Problems of Regional Ecology. 2021. No. 1. Pp. 41-46.

14. Shalanov N. V. et al. Statistical Interpretation of Synergetics. Eurasian Scientific Association. 2021. No. 1-4 (71). Pp. 295-296.
15. Rosenberg G. S. Order - Chaos, Asymptote – Synergetics, Classic – Post-Non-Classical: An Ecologist's View. Complexity. Mind. Post-Nonclassical. 2023. No. 1. Pp. 5-17.
16. Ivonin V. M. Synergetics of Agroforestry Systems. Regional Geo-Systems. 2023. Vol. 47. No. 1. Pp. 62-75.

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: 10.32786/2071-9485-2026-04-13

THE LANDS' CURRENT DESERTIFICATION CHARACTERISTICS IN THE DAGESTAN REPUBLIC

Yuferev V. G., Tkachenko N. A.

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

Corresponding author E-mail: tkachenkon@vfanc.ru

Received 20.04.2026 Submitted 13.07.2026

This study was carried out as part of the state assignment to the FSC of agroecology RAS FNFE-2024-0009, "Desertification in arid, subarid and dry subhumid regions, mapping of the current state and dynamics of land desertification, modeling and forecasting of desertification processes, to develop strategies for the restoration of degraded lands using geoinformation technologies and aerospace methods under the conditions of intensifying droughts, as well as sand and dust storms".

Summary
The article presents the results of a geoinformation analysis of desertified lands in the Nogaysky, Tarumovsky, and Kizlyarsky districts of the Republic of Dagestan. The research results showed that 490.9 thousand hectares (34.0 %) of pastures are severely desertified and require urgent phytomeliorative reconstruction.

Abstract
Introduction. Desertification of lands is a pressing issue for the northern regions of the Republic of Dagestan. Prolonged irrational anthropogenic impact on the soil cover, unsystematic grazing that significantly exceeds the permissible load on pastures, combined with unfavorable climatic changes (an increase in the number of droughts and dust storms, a decrease in precipitation, etc.) have led to an expansion of decertified areas and a reduction in the area of productive pastures. To address this problem, the Republic is implementing a State Program aimed at bringing unused lands into circulation, including by drilling new artesian wells in pastures, establishing nurseries for growing seedlings, and carrying out phytomelioration measures. The use of geoinformation (GIS) technologies and satellite imagery data allows for promptly obtaining the necessary information about the scale and spatial dynamics of desertification processes, as well as identifying territories that urgently need agroforestry improvement and phytomeliorative reconstruction work. **Object.** The pastures of the northern regions of the Republic of Dagestan, which are representative for studying degradation processes and natural-anthropogenic desertification. **Materials and methods.** A geoinformation analysis of land desertification of pasture in the Nogaysky, Tarumovsky, and Kizlyar districts of the Republic of Dagestan was carried out based on remote sensing data for the period from 1984 to 2025. Desertification hotspots were identified by analyzing the spectral characteristics of satellite images and comparing them with the characteristics obtained through field spectrometry in areas with exposed sands. On composite images, the interpretation of large areas of exposed sands was performed by expert assessment. **Results and conclusions.** Geoinformation analysis of satellite images made it possible to develop cartographic layers of the decertified land area and classify desertification of pastures into degrees:

severe, moderate, mild, and background. It was found that in 2025, 257.8 thousand hectares in the Nogaysky district of pastures, 150.8 thousand hectares in the Tarumovsky district, and 82.3 thousand hectares in the Kizlyar district are subject to severe desertification. These lands now require urgent measures to stabilize moving sands and carry out phytomelioration in order to prevent further expansion of desertified areas.

Keywords: *geoinformation analysis, territory mapping, desertification of territories, GIS technologies, remote sensing of territories, landscape degradation.*

Citation. Yuferev V. G., Tkachenko N. A. The lands' current desertification characteristics in the Dagestan Republic. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 124-132 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-13.
Reviewing. The Proceedings of the NV AUC editorial board would like to express their gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
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 631.61:528.88

ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО ОПУСТЫНИВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

Юферев В. Г., *доктор сельскохозяйственных наук*
Ткаченко Н. А., *кандидат сельскохозяйственных наук*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН FNFE-2024-0009 «Опустынивание территорий аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов, картографирование современного состояния и динамики опустынивания земель, моделирование и прогнозирование процессов опустынивания, для планирования восстановления деградированных земель с применением геоинформационных технологий и аэрокосмических методов в условиях усиливающихся засух, песчаных и пыльных бурь».

Актуальность. Опустынивание земель является актуальной проблемой для северных районов Республики Дагестан. Длительное нерациональное антропогенное воздействие на почвенный покров, бессистемный выпас скота, многократно превышающий допустимые нормы нагрузки на пастбища, в совокупности с неблагоприятными климатическими изменениями (увеличение числа засух и пыльных бурь, сокращение количества осадков и т.д.) привели к увеличению площади опустыненных территорий и сокращению площади продуктивных пастбищ. Для решения этой проблемы в республике реализуется государственная программа, направленная на вовлечение в оборот неиспользуемых земель, в том числе путем бурения новых артезианских скважин на пастбищах, создания питомников для выращивания саженцев и проведения фитомелиоративных мероприятий. Применение геоинформационных (ГИС) технологий и результатов космической съёмки позволяет оперативно получать необходимую информацию о масштабах и пространственной динамике процессов опустынивания, определять территории, которые остро нуждаются в проведении агролесомелиоративного обустройства и работ по фитомелиоративной реконструкции. **Объект исследований** – пастбища северных районов Республики Дагестан, которые являются репрезентативными для изучения процессов деградации и природно-антропогенного опустынивания. **Материалы и методы.** Геоинформационный анализ опустынивания земель пастбищных угодий в Ногайском, Тарумовском и Кизлярском районах Республики Дагестан проведен на основе данных дистанционного зондирования в период с 1984 по 2025 год. Очаги опустынивания выявлены при анализе спектральных характеристик спутниковых снимков и сравнении их с характеристиками, установленными при полевом спектрометрировании на территориях с открытыми песками. На композитных снимках экспертным способом проведено дешифрирование обширных массивов открытых песков. **Результаты и выводы.** Геоинформационный анализ космических снимков позволил разработать картографические слои площади опустынивания земель и классифицировать опустынивание пастбищ по степеням: сильное, среднее, слабое и фоновое. Установлено, что в 2025 г. в Ногайском районе сильному опустыниванию подвержено 257,8 тыс. га пастбищ, в Тарумовском – 150,8 тыс. га, а в Кизлярском – 82,3 тыс. га. Эти земли сейчас нуждаются в срочных мероприятиях по закреплению подвижных песков и фитомелиорации, чтобы предотвратить дальнейшее увеличение площади опустынивания земель.

Ключевые слова: *геоинформационный анализ, картографирование территорий, опустынивание территорий, ГИС-технологии, дистанционное зондирование территорий, деградация ландшафтов.*

Цитирование. Юферев В. Г., Ткаченко Н. А. Характеристика современного опустынивания земель Республики Дагестан. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 124-132. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-13.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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 юге России проблема опустынивания всегда стояла очень остро. В 70-80-х годах прошлого века на пастбищах на востоке Калмыкии и в северных районах Дагестана бурно развивались животноводческие колхозы и, соответственно, выросло поголовье скота, особенно овец. Это привело к тому, что существенно возросла нагрузка на пастбища, многократно превышающая допустимые нормы. Помимо этого, в хозяйствах также стали распахивать пастбища, что привело к деградации земель, уничтожению травянистого покрытия и, как следствие, возникновению пыльных бурь, выносу плодородного слоя и т. д. Тогда, благодаря разработанной учеными Генеральной схеме борьбы с опустыниванием, удалось остановить этот процесс и за несколько лет восстановить огромные территории путем фитомелиорации деградированных пастбищ и закрепления песков [1, 2]. В настоящее время на пастбищах Калмыкии и Дагестана отмечается новая волна опустынивания в связи с тем, что нормы нагрузки животных на гектар вновь превышены в 3-5 раз, доля сбитых пастбищ увеличилась местами до 80-90 %, возросла частота пыльных и песчаных бурь, увеличилась продолжительность почвенных и атмосферных засух.

Материалы и методы. Целью настоящего исследования было установить степень и пространственное распределение опустыненных пастбищ в Ногайском, Тарумовском и Кизлярском районах Республики Дагестан.

На начальном этапе для региона исследования в геоинформационном программном комплексе QGIS 3 была создана база данных, состоящая из растровых, векторных и атрибутивных данных. Метеоданные были взяты со справочно-информационного портала «Погода и климат» (https://www.pogodaiklimat.ru/). Для анализа динамики процесса опустынивания с 1984 по 2025 гг. подобраны архивные снимки сверхвысокого разрешения со спутников Worldview-2, 3, актуальные снимки высокого разрешения – со спутников Sentinel-2, Landsat-8, 9; выбран период активной вегетации растительности [3-6]. Очаги опустынивания выявлены при анализе спектральных характеристик спутниковых снимков и сравнении их с характеристиками, установленными при полевом спектрометрировании на территориях с открытыми песками [3, 5, 7, 8]. На композитных снимках экспертным способом было проведено дешифрирование обширных массивов открытых песков. Основным дешифровочным признаком деградации для естественных ландшафтов является уменьшение или полное отсутствие проективного покрытия травянистой растительности [9-12]. Пастбищные нагрузки нами не анализировались в связи с отсутствием в открытом доступе достоверных сведений о поголовье скота.

Результаты и обсуждение. Территория исследования представляет собой полупустынную равнину, крутизна поверхности которой практически не превышает 2°, с большим количеством песчаных массивов и мелких соленых озер. В почвенном покрове преобладают светло-каштановые почвы преимущественно легкосуглинистого и супесчаного гранулометрического состава разной степени засоления. Климат континентальный, характеризуется жарким, сухим, крайне засушливым летом; максимальная температура воздуха может подниматься до 45 °С, а зимой опускаться до -25 °С, годовая сумма осадков колеблется от 150 до 350 мм. Гидротермический коэффициент находится в пределах 0,2-0,5. Часто дуют сильные (до 15-25 м/с) иссушающие юго-восточные ветры [13, 14].

В последние годы отмечается наиболее существенный рост температуры относительно среднемноголетней нормы и уменьшение количества выпадающих осадков (таблица 1, 2) [15]. Так, по данным метеостанций Кизляр и Кочубей за последние восемь лет среднегодовая температура повысилась с +12,6 °С до +13,4 °С.

Таблица 1 – Средние годовые температура воздуха (T, °C) и суммы выпавших осадков (R. мм) по данным метеостанции Кизляр

Table 1 – Average annual air temperature (T, °C) and precipitation amounts (R. mm) according to the Kizlyar weather station

Год / Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
T, °C	12,4	12,7	13,6	11,6	12,6	12,6	12,8	13,1	12,5
R. мм	79	154	178	270	332	428	303	301	394
Год / Year	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
T, °C	12,8	13,3	13,4	13,5	13,3	13,4	14,0	13,7	13,5
R. мм	252	242	277	283	261	282	256	281	277

Таблица 2 – Средние годовые температура воздуха (T, °C) и суммы выпавших осадков (R. мм) по данным метеостанции Кочубей

Table 2 – Average annual air temperature (T, °C) and precipitation amounts (R. mm) according to the Kochubey weather station

Год / Year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
T, °C	12,4	12,5	13,7	11,7	12,4	12,7	12,7	13,0	12,6
R. мм	274	347	282	307	372	222	248	217	388
Год / Year	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
T, °C	12,8	13,2	13,3	13,6	13,2	13,5	13,9	13,6	13,4
R. мм	194	218	191	169	258	190	278	183	198

Дагестан занимает лидирующую позицию среди других субъектов Российской Федерации (РФ) по поголовью овец. Отгонное животноводство является отличительной особенностью Республики. В связи с тем, что часто пастбищные угодья находятся в частных руках, предприниматели зачастую оставляют круглогодично примерно 500 тыс. голов овец на летних пастбищах, чем ускоряют процессы опустынивания, усугубляют и так непростую ситуацию в регионе [13, 14]. Постоянный выпас овец не дает расти ценным кормовым травам, поэтому на постоянно стравливаемых участках преобладают плохо поедаемые растения [16]. В целом травяной покров на таких пастбищах сильно изреживается, почва под копытами овец разрыхляется, становится уязвимой для ветра, что является причиной расширения границ участков опустынивания и образования новых очагов. Такую ситуацию можно было наблюдать на севере Дагестана в 2020 году, когда совокупность неблагоприятных факторов (засуха, перевыпас скота, пыльные бури) привела к резкому увеличению земель, лишенных растительного покрова и площади открытых песков [17]. В связи с этим необходим мониторинг участков земель, подверженных опустыниванию, и массивов открытых песков, чтобы своевременно принимать меры по регулированию пастбищных нагрузок и проведению фитомелиоративных работ.

Применение геоинформационных (ГИС) технологий и результатов космической съёмки позволяет оперативно получать необходимую информацию о масштабах и пространственной динамике процессов опустынивания. При определении максимальной площади опустынивания пастбищ на всей территории региона устанавливают суммарную площадь участков опустынивания в наиболее напряженный период, обусловленный высокими температурами, низким количеством осадков и проявлением засух [18, 19] и пыльных (песчаных) бурь в год исследований [17]. Условием использования космоснимков для анализа ситуации является отсутствие облачности, обеспечивающее полный доступ к изображению поверхности.

В учет общей площади опустынивания берутся данные по суммарной площади участков пастбищ с учетом всех видов опустынивания, определяемых дистанционными способами, таких как дефляция и засоление, антропогенное нарушение и полное уничтожение травяного покрова, в том числе сбой пастбищ, увеличение площади открытых песков, снижение проективного покрытия по другим причинам. Это хорошо иллюстрируется увеличением площади открытых, без растительности участков вокруг чабанских точек и мест водопоя скота, которые контрастно выделяются на фоне сохранившегося покрытия. Для уточнения вида опустынивания, состава фитоценозов и местных условий проводят полевые исследования на контрольных участках территории. Точность дешифрирования выделения участков опустынивания определяется разрешением исходных каналов космоснимков. Для спутников серии Landsat разрешение каналов B2, B3 и B4 составляет 30 м, точность геопозиционирования снимков – 12 м. Такой подход позволяет провести вектори-

зацию растрового изображения, разработать соответствующие геоинформационные слои контуров участков опустынивания и пространственную базу данных их распределения и положения.

Площадь опустынивания территории Республики Дагестан определена по результатам проведенной в соответствующие годы космосъемки классификации растра в геоинформационной программе QGIS. В результате разработаны картографические слои пространственного положения и площади контуров участков опустынивания, а также определена их общая площадь. Оценка изменения этой площади проведена за период с 1984 по 2025 год по результатам геоинформационного анализа спектрозональных космоснимков спутников Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8 и Landsat 9, для каждого года исследуемого периода. По полученным результатам разработана база данных (RU 2026620824).

На рисунке 1 представлены данные по площади опустынивания пастбищ в Республике Дагестан с 1984 по 2025 гг. Проведенный регрессионный анализ с использованием программы PAST 5.2 выявил, что изменения этой площади соответствуют функции Гаусса.

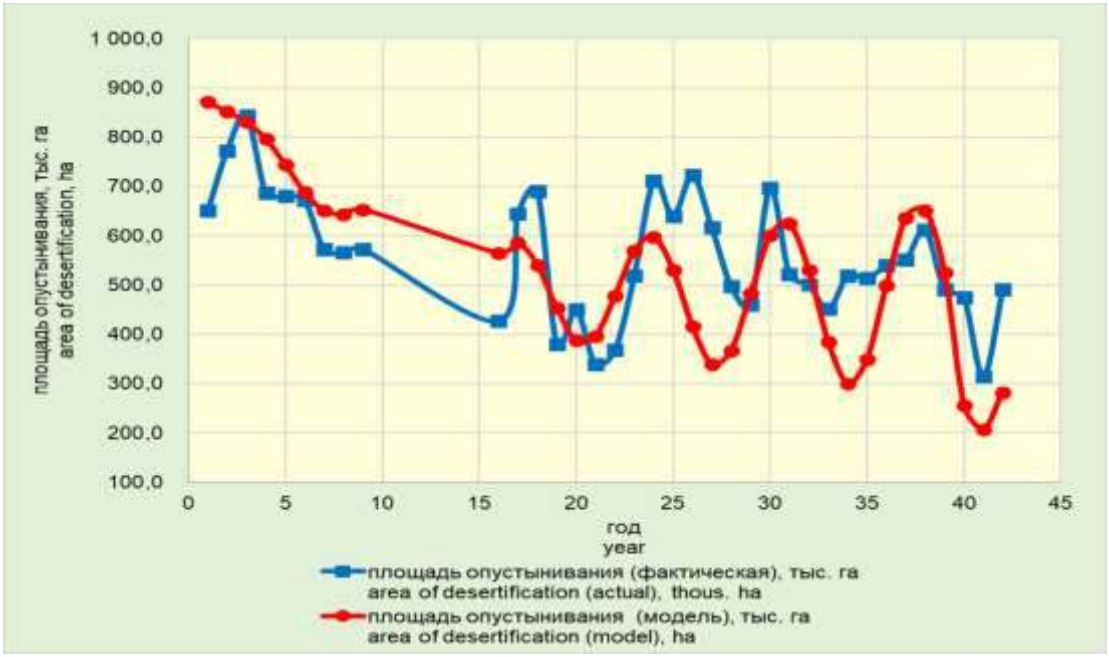


Рисунок 1 – Динамика опустынивания в Республике Дагестан
Figure 1 – Dynamics of Desertification in the Republic of Dagestan

Установлено, что изменения площади опустынивания ($S_{оп}$) по годам исследований удовлетворительно (коэффициент корреляции 0,668) описываются уравнением (1):

$$Sоп=((540/(1+1*EXP(0,25*\$B3-1,3)))+270)+((((510*(\$B3*0,01)*((SIN(0,91*(\$B3)-1,2)))+2,9))))+200 \quad (1)$$

Скорость опустынивания земель ($V_{оп}$, тыс. га/год) рассчитывали, как первую производную уравнения 1 ($dSоп/dt$), по формуле (2):

$$Vоп=5,1*((0,91*cos((0,91*x)-1,2)*x)+sin((0,91*x)/(100)-1,2))))-(135*EXP(0,25*x-1,3))/((EXP(0,25*x-1,3)+1)^2) \quad (2)$$

На рисунке 2 отчетливо прослеживаются периодичность и скорость процесса опустынивания. В первые 5 лет исследований отмечено отрицательное значение скорости, то есть зафиксирован процесс уменьшения площади опустынивания, после чего, начиная с 1992 года, отмечаются положительные значения скорости. Начиная с 2000 года, отмечены колебания скорости с периодом 7 лет, с переходом через 0 значение через 3,5 года. Таким образом, полученная модель скорости дает возможность прогноза опустынивания на территории Республики Дагестан и принятия соответствующих мер по снижению ущерба в критический период.

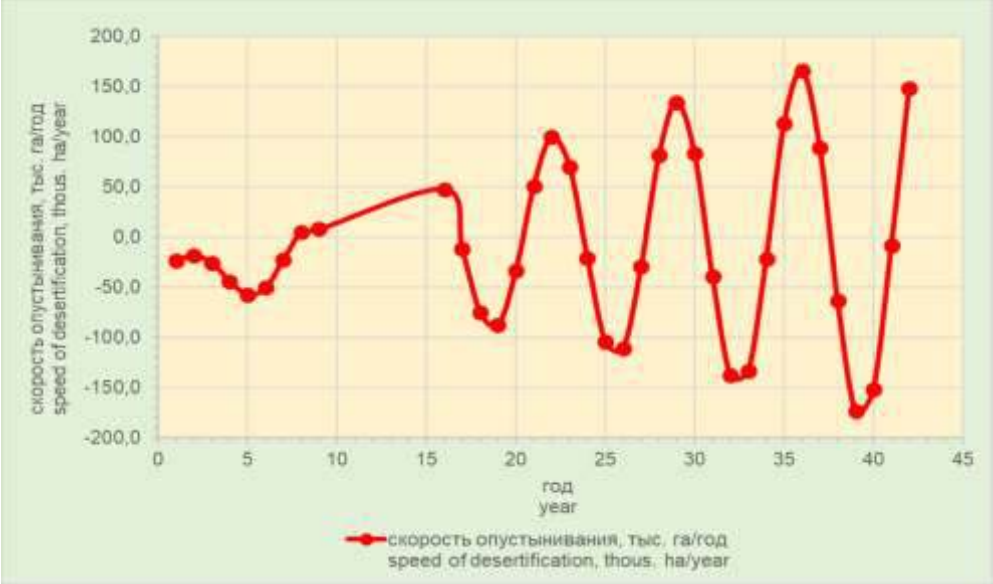


Рисунок 2 – Скорость опустынивания в Республике Дагестан
Figure 2 – Desertification rate in the Republic of Dagestan

В результате дешифрирования космоснимков Sentinel 2, Landsat 8, 9 и геоинформационного анализа полученных данных определены участки земель, подверженных в 2025 году сильному, среднему, слабому и фоновому опустыниванию, выявлены их площади (таблица 3) и создана карта опустынивания пастбищ для северных районов Дагестана (рисунок 3).

Таблица 3 – Площади опустынивания северных районов Дагестана в 2025 г.
Table 3 – Areas of desertification in the northern regions of Dagestan in 2025

Степень опустынивания / Stage of desertification	Муниципальный район / Municipal area			Всего / Total	
	Ногайский / Nogaysky	Тарумовский / Tarumovsky	Кизлярский / Kizlyarsky		
	тыс. га / thousand hectares				%
Сильная / Severly	257,8	150,8	82,3	490,9	34,0
Средняя / Moderately	309,2	77,4	65,3	451,8	31,3
Слабая / Mild	275,5	33,7	12,2	321,4	22,2
Фоновое / Negligible	31,2	131,0	19,2	181,5	12,6
Итого / Total	873,7	393,0	179,0	1445,6	100,0

Каждая степень опустынивания характеризуется качественными и количественными критериями с учетом условий региона [10, 20]. Фоновая степень – это начальная стадия опустынивания, почвенно-растительный покров относительно стабилен, но при воздействии на него неблагоприятных природно-антропогенных факторов начинаются процессы деградации и переход в следующую стадию. При слабой степени опустынивания почвенно-растительный покров незначительно нарушен, урожайность фитомассы угодий сокращается менее чем на 10 % (в среднем на 5 %). Средняя степень опустынивания характеризуется сокращением урожайности фитомассы на 10-50 % (в среднем на 30 %), а сильная степень – на 50-90 % (в среднем на 70 %) и сопровождается разрушением плодородного слоя почв [10, 20, 21].

Результаты исследований показали, что в 2025 году в северных районах Дагестана сильному опустыниванию было подвержено 490,9 тыс. га (34,0 %) пастбищ, а среднему – 451,8 тыс. га (31,3 %). Дистанционные исследования показали, что к сильному опустыниванию относятся угодья, занимаемые подвижными (открытыми) песками, солончаками и сильносбитыми пастбищами. Больше всего пострадали пастбища Ногайского района, где площадь сильно опустыненных земель составила 257,8 тыс. га, а среднеопустыненных земель – 309,2 тыс. га.

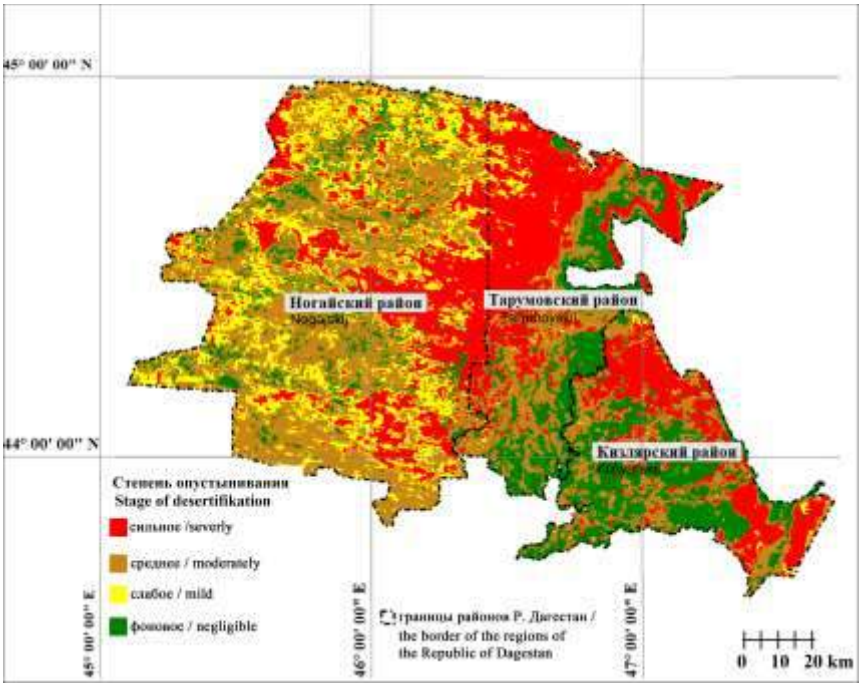


Рисунок 3 – Карта опустынивания пастбищ северных районов Дагестана в 2025 г.
Figure 3 – Map of desertification of pastures in the northern regions of Dagestan in 2025

Для предотвращения увеличения площади опустынивания требуется в первую очередь оптимизировать пастбищную нагрузку, соблюдать сроки стравливания, освободить сильно деградированные пастбища от выпаса и предоставить им отдых в течение одного-двух лет. Для восстановления плодородия и продуктивности сильно деградированных пастбищ необходимо проведение фитомелиоративных работ. Подвижные пески и очаги опустынивания рекомендуется закрепить путем посадки четырехрядных полос из джузгуна безлистного (*Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke) и терескена обыкновенного (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.), с посевом в межполосном пространстве житняка пустынного (*Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) Schult.) и пырея сизого (*Thinopyrum intermedium* (Host) Barkworth & D.R. Dewey) [2, 16, 21, 22].

Стоит отметить, что площадь опустынивания в течение одного года может меняться (увеличиваться или уменьшаться) под воздействием на территорию различных факторов: пастбищной нагрузки, ветрового режима, тепло- и влагообеспеченности. Засухи и сильные ветры способствуют резкому сокращению флористического состава травянистой растительности и увеличению площадей опустынивания. В то время как при благоприятных условиях (оптимальная температура воздуха и наличие достаточного количества осадков) отмечается активная вегетация злаков, галофитов и полукустарничков, что приводит к частичному закреплению песков и зарастанию дефлированных участков. Лишь 15-30 % площадей опустынивания прослеживаются из года в год [3].

Заключение. Дешифрирование космических снимков спутников Worldview-2, 3, Sentinel-2, Landsat-8, 9 и геоинформационный анализ, проведенный на основе данных дистанционного зондирования с 1984 по 2025 год, позволили установить пространственное распределение, степень и площадь опустыненных пастбищных угодий в Ногайском, Тарумовском и Кизлярском районах Республики Дагестан. Разработано уравнение регрессии изменения площади участков и скорости процесса опустынивания. Положительные значения скорости отмечены с 1992 года. Начиная с 2000 года зафиксированы колебания скорости с периодом 7 лет с переходом через нулевое значение каждые 3,5 года. Полученная модель скорости дает возможность прогноза опустынивания на территории Республики Дагестан. В результате исследования установлено, что в 2025 году площадь сильно опустыненных пастбищ в Ногайском районе составила 257,8 тыс. га, в Тарумовском – 150,8 тыс. га, а в Кизлярском – 82,3 тыс. га. Снижение скорости опустынивания пастбищ и повышение их продуктивности достижимы при условии рационального использования пастбищ и реализации мероприятий по фитомелиоративной реконструкции деградированных пастбищ экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями.

Conclusions. The interpretation satellite imagery from WorldView-2 and 3, Sentinel-2, Landsat-8 and 9 and the subsequent geoinformation analysis, based on remote sensing data from 1984 to 2025, have revealed the spatial distribution, stage and area of desertification of pasture lands in the Nogaysky, Tarumovsky, and Kizlyarsky districts of the Republic Dagestan. A regression equation for changes in the area of land and the speed of desertification has been developed Positive speed values have been noted since 1992. Since 2000, fluctuations of the speed have been registered, with a 7-year cycle and a transition through zero every 3.5 years. The obtained model of speed makes it possible to forecast desertification in the Republic Dagestan. As a result of the research, it was found that in 2025 the area of strongly desertification pastures in the Nogaysky district was 257.8 thousand hectares, 150.8 thousand hectares in the Tarumovsky district, and 82.3 thousand hectares in the Kizlyar district. Reducing the rate of desertification of pastures and increasing their productivity is achievable under the condition of rational use of pastures and the implementation of measures for the phytomeliorative reconstruction of degraded pastures using environmentally harmless resource-saving technologies.

Библиографический список

1. Кулик К. Н., Петров В. И. История и современность «Генеральной схемы по борьбе с опустыниванием Черных земель и Кизлярских пастбищ». Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2016. № 67. С. 94-97.

2. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Республики Дагестан. Волгоград-Махачкала: ФНЦ агроэкологии РАНб 2024. 204 с.

3. Биарсланов А. Б., Шинкаренко С. С., Гаджиев И. Р. Картографирование и анализ сезонной динамики площадей опустынивания на севере Дагестана по ежемесячным композитам Sentinel-2. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 1. С. 160-175.

4. Shinkarenko S. S. et al. A Method of Mapping Seasonal Dynamics of Open Sand Areas and Deflated Territories Based on High-Resolution Satellite Data and Machine Learning. Cosmic Research. 2025. V. 63. No. 1. Pp. 271-281.

5. Геоинформационное картографирование опустынивания аридных, субаридных и сухих субгумидных регионов Российской Федерации на основе данных дистанционного зондирования и полевых исследований. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 271 с.

6. Саидов А. К. Картографическая оценка опустынивания – деградации земельных ресурсов Российского Прикаспия и некоторые пути их улучшения (на примере Кизлярских пастбищ Республики Дагестан). Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2008. № 6. С. 119-121.

7. Стасюк Н. В. и др. Верификация прогнозной динамики деградации почвенного покрова с использованием космических снимков. Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2017. № 4. С. 21-25.

8. Дорошенко В. В., Балынова В. В. Оценка современных процессов опустынивания в Республике Дагестан на примере локального песчаного массива. Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 24-29.

9. Виноградов Б. В. Дистанционные индикаторы опустынивания и деградации почв. Почвоведение. 1993. № 2. С. 98-103.

10. Кулик К. Н. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 248 с.

11. Delaney B., Tansey K., Whelan M. Satellite Remote Sensing Techniques and Limitations for Identifying Bare Soil. Remote Sensing. 2025. V. 17 (4). Art. 630.

12. Sahar A. A. et al. Mapping Sandy Areas and Their Changes Using Remote Sensing. The Case Study at North-East Al-Muthanna Province, South of Iraq. Revista de Teledeteccion. 2021. V. 58. Pp. 39-52.

13. Залибеков З. Г. Процессы опустынивания и их влияние на почвенный покров. М.: Наука, 2000. 219 с.

14. Усманов Р. З. и др. Проблемы борьбы с деградацией и опустыниванием Кизлярских пастбищ в связи с аридизацией климата и антропогенных воздействий на природные экосистемы. Юг России: экология, развитие. 2010. № 3. С. 117-122.

15. Погода и климат: справочно-информационный портал. https://www.pogodaiklimat.ru/history/37157.htm

16. Шинкаренко С. С. и др. Пыльные бури на юге европейской части России в сентябре – октябре 2020 года. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 291-296.

17. Рыбашлыкова Л. П. Аридизация климата в Западном Прикаспии как фактор снижения продуктивности пастбищных фитоценозов. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. Т. 17. № 3. С. 133-147.

18. Золотокрылин А. Н., Черенкова Е. А., Титкова Т. Б. Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 2. С. 207-217.

19. Zolotokrylin A. N., Titkova T. V. A new approach to the monitoring of desertification centers. Arid Ecosystems. 2011. V. 1. No. 3. Pp. 125-130.

20. Иванов А. Л., Кулик К. Н. Агролесомелиорация: монография. Волгоград: ВНИАЛМИ. 2006. 746 с.

21. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 68 с.

22. Manaenkov A. S., Rybashlykova L. P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region. Arid Ecosystems. 2020. V. 10. No. 4. Pp. 358-367.

References

1. Kulik K. N., Petrov V. I. The history and the present of the «General Scheme to Combat Desertification of the Black Lands and Kizlyar Pastures». FSC of agroecology RAS, 2016. No. 67. Pp. 94-97.

2. National Action Program to Combat Desertification of the Republic of Dagestan. Volgograd- Makhachkala: FSC of agroecology RAS, 2024. 204 p.

3. Biarslanov A. B., Shinkarenko S. S, Gadzhiev I. R. Mapping and analysis of desertification areas seasonal dynamics in the north of Dagestan based on Sentinel-2 monthly composites. Current problems in remote sensing of the earth from space. 2023. V. 20. No. 1. Pp. 160-175.

4. Shinkarenko S. S. et al. A Method of Mapping Seasonal Dynamics of Open Sand Areas and Deflated Territories Based on High-Resolution Satellite Data and Machine Learning. Cosmic Research. 2025. V. 63. No. 1. Pp. 271-281.
5. Geoinformation Mapping of Desertification in Arid, Subarid, and Dry Subhumid Regions of the Russian Federation based on Remote Sensing and Field Surveys. Volgograd: FSC of agroecology RAS, 2024. 271 p.
6. Saidov A. K. Cartographic estimation of desertification - degradation of the land resources Russian Prikaspiy and some way of his improvement (on example Kizlyars pasture of the Republic Dagestan). Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science. 2008. No. 6. Pp. 119-121.
7. Stasuk N. V. et al. Verification of predicted dynamics of soil degradation using satellite imagery. Moscow University Soil Science Bulletin. 2017. No. 4. Pp. 21-25.
8. Doroshenko V. V., Balunova V. V. Assessment of contemporary deserti cation processes in the Republic of Dagestan on the example of a local sand massif. Scientific and agronomic journal. 2022. No. 4 (119). Pp. 24-29.
9. Vinogradov B. V. Remote Indicators of Desertification and Soil Degradation. Soils Science. 1993. No. 2. Pp. 98-103.
10. Kulik K. N. Agroforestry mapping and phytoecological assessment of arid landscapes. Volgograd: VNIALMI, 2004. 248 p.
11. Delaney B., Tansey K., Whelan M. Satellite Remote Sensing Techniques and Limitations for Identifying Bare Soil. Remote Sensing. 2025. V. 17 (4). Art. 630.
12. Sahar A. A. et al. Mapping Sandy Areas and Their Changes Using Remote Sensing. The Case Study at North-East Al-Muthanna Province, South of Iraq. Revista de Teledeteccion. 2021. V. 58. Pp. 39-52.
13. Zalibekov Z. G. Processes of desertification and their influence on the soil cover. Moscow: Science, 2000. 219 p.
14. Usmanov R. Z. et al. The problems of the fight with degradation and desertification Kizlyar pasture in connection with aridization of the climate and anthropogenic effect influence on natural ecologic systems. South of Russia: ecology, development. 2010. No. 3. Pp. 117-122.
15. Weather and Climate: Information Portal. https://www.pogodaiklimat.ru/history/37157.htm
16. Shinkarenko S. S. et al. Dust storms in the south of the European part of Russia in September – October 2020. Current problems in remote sensing of the earth from space. 2020. V. 17. No. 5. Pp. 291-296.
17. Rybashlykova L. P. Aridization of the climate in the western Caspian region as a factor in reducing the productivity of pasture phytocenoses. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. V. 17. No. 3. Pp. 133-147.
18. Zolotokrylin A. N., Cherenkova E. A., Titkova T. B. Aridization of drylands in the European part of Russia: secular trends and links to droughts. Regional research of Russia. 2020. No. 2. Pp. 207-217.
19. Zolotokrylin A. N., Titkova T. V. A new approach to the monitoring of desertification centers. Arid Ecosystems. 2011. V. 1. No. 3. Pp. 125-130.
20. Ivanov A. L., Kulik K. N. Agroforestry: monograph. Volgograd: VNIALMI, 2006. 746 p.
21. Methodological recommendations for the phytomeliorative reconstruction of degraded and desolate pastures of the Russian Federation with innovative environmentally safe resource saving technologies. Volgograd: FSC of agroecology RAS, 2021. 68 p.
22. Manaenkov A. S., Rybashlykova L. P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region. Arid Ecosystems. 2020. V. 10. No. 4. Pp. 358-367.

Информация об авторах

Юферев Валерий Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный 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: 0000-0002-1046-0196, e-mail: yuferevv@vfanc.ru

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, д. 97), ORCID: 0000-0003-4526-5195, e-mail: tkachenkon@vfanc.ru

Authors' Information

Yuferev Valerij Grigorievich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Head of 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: 0000-0002-1046-0196, e-mail: yuferevv@vfanc.ru

Tkachenko Natalia Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Laboratory 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@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-14

THE LEAF TREATMENTS EFFECT ON THE BLACK CURRANT DEVELOPMENT PHENOLOGICAL PHASES

Akulenko E. G., Ostrovskaya S. M., Novikova N. N., Doroshenko E. A., Anishko M. Yu.

All-Russian Lupine Scientific Research Institute – the branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology
Bryansk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Received 31.03.2026 Submitted 30.06.2026

Abstract

Introduction. For good growth and increase in productivity and quality of black currant products, fertilizing with macro- and micro-fertilizers is necessary. The most effective are foliar fertilizing. **The purpose of this work** is to identify the effect of foliar fertilization on the phenological phases of black currant development. **Materials and methods.** The research was carried out in 2024-2025 at the site of the variety study of black

currant in the direction of fruit growing of the All-Russian Research Institute of Lupine (Bryansk Region). The effect of foliar fertilization on the passage of phenophases was studied on the early-ripening variety of black currant, Selechenskaya 2. The treatments were carried out with the following preparations: Biostim Rost, Bionex-Kemi Liquid, and AgroMaster 18-18-18. When working, the main provisions of the methodological guidelines for conducting registration tests of macro- and microfertilizers and plant growth regulators were followed. The timing of the main phases of the growing season was determined according to the recommendations of the generally accepted methodology for studying fruit, berry, and nut crops. The area for studying black currant had a light gray forest, light loamy soil. **Results and conclusions.** Mineral complexes in the form of foliar fertilizers Biostim Rost, Bionex-Kemi Liquid, and Agromaster 18-18-18 had a positive effect on the phenological phases of black currant development in Selechenskaya 2. The fertilizers accelerated the flowering phase by 1 day in 2024 and by 3 days in 2025. Plants treated with Agromaster 18-18-18 showed an increase in the flowering phase duration to three days. Leaf fertilization with mineral complexes extended the ripening of berries by one to five days, depending on the mineral complexes studied, compared to the control variant. The duration of berry ripening on plants treated with complex fertilizers increased from 2 to 6 days. Treatment with AgroMaster 18-18-18 slows down berry ripening, prolonging the overall vegetation cycle. The leaf fall began later in the treated variants by three to four days compared to the control. The AgroMaster 18-18-18 variant also had the longest leaf fall period (14 and 16 days). Biostim Growth, Bionex-Kemi Liquid, and AgroMaster 18-18-18 promote early flowering and a slight increase in the duration of the growing season, which can potentially extend the fresh consumption of berries.

Keywords: *black currant, black currant foliar fertilization, plant development phenological phases.*

Citation. Akulenko E. G., Ostrovskaya S. M., Novikova N. N., Doroshenko E. A., Anishko M. Yu. The leaf treatments effect on the black currant development phenological phases. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 132-139 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-14.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, or analysis of the data obtained. All authors of this article have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 634.723:632.4:**631.8**

ВЛИЯНИЕ ЛИСТОВЫХ ОБРАБОТОК НА ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ РАЗВИТИЯ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ

Акуленко Е. Г., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Островская С. М., *младший научный сотрудник*
Новикова Н. Н., *младший научный сотрудник*
Дорошенко Е. А., *младший научный сотрудник*
Анишко М. Ю., *доктор сельскохозяйственных наук, директор*

Всероссийский научно-исследовательский институт люпина –
филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса»
пос. Мичуринский, Брянский район, Брянская область, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования п. 4.1.2.3 ПФНИ РАН ГЗ № FGGW-2025-0002. «Вывести новые сорта сельскохозяйственных культур (кормовых, аридных, зерновых и зернобобовых, плодовых и масличных) адаптированных к различным почвенно-климатическим условиям Российской Федерации и отличающихся высокой устойчивостью к основным заболеваниям и к местным неблагоприятным условиям среды, на основе использования существующих и вновь создаваемых методов получения исходного материала с заданными свойствами».

Актуальность. Для хорошего роста, повышения продуктивности и качества продукции смородины черной необходимы подкормки макро- и микроудобрениями. Наиболее эффективны некорневые подкормки. **Цель работы:** выявить влияние некорневых подкормок на прохождение фенологических фаз развития смородины черной. **Материалы и методы.** Исследовательская работа выполнялась в 2024-2025 гг. на участке сортоизучения смородины черной в направлении плодоводства ВНИИ люпина (Брянская область). Изучение действия некорневых подкормок на прохождение фенофаз проводилось на сорте смородины черной раннего срока созревания Селеченская 2. Обработки проводились препаратами: Биостим Рост, Бионекс-Кеми Жидкий, АгроМастер 18-18-18. При работе придерживались основных положений методических указаний по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений. Сроки прохождения основных фаз вегетационного периода определяли согласно рекомендациям общепринятой методики сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Участок сортоизучения смородины черной имел светло-серую лесную легкосуглинистую почву. **Результаты и выводы.** Минеральные комплексы в виде листовых подкормок Биостим Рост, Бионекс-Кеми Жидкий, АгроМастер 18-18-18 ока-

зали положительное действие на прохождение фенологических фаз развития смородины черной сорта Селеченская 2. Удобрения ускорили фазу начала цветения на 1 день в 2024 году и на 3 дня в 2025 году. На растениях, обработанных АгроМастер 18-18-18, отмечалось увеличение продолжительности фазы цветения до трех дней. Листовые подкормки минеральными комплексами продлили созревание ягод на один-пять дней в зависимости от изучаемых комплексов относительно контрольного варианта. Продолжительность созревания ягод на растениях, обработанных комплексными удобрениями, увеличилась на 2-6 дней. Обработка препаратом АгроМастер 18-18-18 замедляет созревание ягод, продлевая общий цикл вегетации. Листопад начинался позже у обработанных вариантов на три-четыре дня относительно контроля. В варианте АгроМастер 18-18-18 был установлен и максимальный период начала и конца листопада (14 и 16 дней). Препараты Биостим Рост, Бионекс-Кеми Жидкий, АгроМастер 18-18-18 способствуют более раннему началу цветения и небольшому увеличению продолжительности периодов вегетации, что потенциально выгодно для увеличения срока потребления ягод в свежем виде.

Ключевые слова: *смородина черная, некорневые подкормки смородины, фенологические фазы развития растений.*

Цитирование. Акуленко Е. Г., Островская С. М., Новикова Н. Н., Дорошенко Е. А., Анишко М. Ю. Влияние листовых обработок на фенологические фазы развития черной смородины. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 132-139. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-14.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. Все авторы проведённого исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении анализа данной работы. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Смородина черная (*Ribes nigrum* L.) является одной из наиболее распространенных ягодных культур в России, обладающей высокими вкусовыми качествами и уникальными лечебными свойствами. Высокое содержание витаминов (С, B_1, B_2, B_3, B_6, К), каротина, кумаринов, антиоксидантов и минералов делает её незаменимой частью здорового питания [1, 2, 3, 4, 5]. Как и любой сельскохозяйственной культуре, смородине черной для нормального роста и плодоношения необходимо дополнительное минеральное питание [6, 7, 8, 9]. Своевременное применение удобрений способно обеспечить прибавку урожая на 22-34 % (Петров, 2020). В настоящее время в технологиях интенсивного садоводства большое внимание уделяется некорневым подкормкам плодово-ягодных культур. Листовые обработки удобрениями ускоряют поступление необходимых элементов для конкретной фазы развития растений. Это приводит к большей устойчивости смородины черной к негативным воздействиям абиотических и биотических факторов, повышению урожайности и качества ягод [10, 11, 12, 13, 14]. Для черной смородины критически важна синхронизация питания с ключевыми фенологическими фазами развития. В начале вегетации (до распускания почек и в фазу активного роста побегов) растения испытывают повышенную потребность в азоте и фосфоре. Дефицит азота на старте роста угнетает развитие вегетативной массы, а недостаток фосфора в период цветения нарушает энергетический обмен, приводя к осыпанию завязей и снижению закладки плодовых почек, что негативно сказывается на урожае текущего и последующего года. В фазу формирования и налива ягод возрастает роль калийного питания, которое способствует увеличению размера ягод, накоплению в них сахаров и аскорбиновой кислоты, а также повышает устойчивость урожая к неблагоприятным погодным условиям.

Материалы и методы. Работа выполнялась в 2024-2025 гг. на участке сортоизучения черной смородины научного направления плодоводства ВНИИ люпина в Брянской области, находящейся в юго-западной части Нечерноземной зоны России. Некорневые подкормки осуществляли на сорте черной смородины раннего срока созревания Селеченская 2. В качестве удобрений были использованы – Биостим Рост, Бионекс-Кеми Жидкий, АгроМастер 18-18-18. При проведении исследований придерживались основных положений методических указаний по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений [15].

Биостим Рост – жидкое аминокислотное удобрение-биостимулятор для листовых подкормок сельскохозяйственных культур в начале вегетации, особенно в неблагоприятных погодных условиях. Производитель – «Щелково Агрохим». Стимулирует вегетативный рост в начале весенней вегетации, восстанавливает ослабленные и поврежденные расте-

ния после перезимовки, защищает от воздействия абиотических стресс-факторов (возвратных заморозков весной, засухи и т. д.) и является активатором фотосинтеза. Подходит для всех культур в начале весенней вегетации.

Бионекс-Кеми Жидкий – комплексное удобрение с микроэлементами в хелатной форме на основе комплексообразователя БИЯК®, биоразлагаемого на аминокислоты и янтарную кислоту. Производитель – «БашИнком». Характеризуется оптимальными высококонцентрированными легкодоступными формами азота, фосфора, калия. Сбалансированный набор микроэлементов в хелатной форме, легко проникающих через клеточную мембрану, обеспечивает полное усвоение, предотвращая окисление элементов. Содержат биоактивированные по молекулярному весу и составу гуматы калия – БМВ-гуматы, обладающие сильными антистрессовыми, ростоускоряющими, иммуностимулирующими свойствами. Насыщены биофунгицидом Фитоспорин-М на основе спорообразующих бактерий Bacillus subtilis 26D, которые подавляют возбудителей болезней на растениях и в почве.

АгроМастер 18-18-18 – сухое, кристаллическое, комплексное водорастворимое удобрение с микроудобрениями в форме хелатов специально разработанное для листовых подкормок. Производитель – компания Valagro (Италия). За счет сбалансированного состава элементов питания в удобрении, растения хорошо развиваются и менее подвержены стрессам. Высокое содержание серы и магния в удобрении усиливает усвоение NPK. Данный фактор способствует увеличению урожайности и качеству производимой продукции.

Использованные комплексные удобрения имеют различия по химическому составу (таблица 1). Дозы внесения рассчитывали согласно техническому регламенту производителей.

Таблица 1 – Химическая характеристика и норма внесения комплексных удобрений
Table 1 – Chemical characteristics and application rates of complex fertilizers

Показатели, % от массы / Indicators, % of weight	Биостим Rost / Biostim Growth	Бионекс-Кеми Жидкий / Bionex-Kemi Liquid	АгроМастер 18-18-18 / AgroMaster 18-18-18
Азот ($N_{общ.}$)	4,5	10,0	18,0
Фосфор (P_2O_5)	10,0	10,0	18,0
Калий (K_2O)	-	10,0	18,0
Сера (SO_4), %	1,0	0,04	6,0
Марганец (Mn), %	0,2	0,01	0,08
Медь (Cu), %	0,1	0,02	0,03
Цинк (Zn), %	0,2	0,01	0,05
Бор (B), %	-	0,01	0,04
Молибден (Mo), %	-	0,002	0,01
Магний (Mg), %	2,0	-	3,0
Железо (Fe), %	0,4	-	0,12
Аминокислоты, % / Amino acids, %	5,5	-	-
Норма внесения / Application rate	10-15 мл/10 л воды, расход рабочего раствора 1-2 л/1 куст / 10-15 ml/10 L of water, working solution consumption 1-2 L/1 bush	30 мл/10 л воды, расход рабочего раствора 1-2 л/1 куст / 30 ml/10 L of water, working solution consumption 1-2 L/1 bush	20-30 г/10 л воды, расход рабочего раствора 1-2 л/1 куст / 20-30 g/10 L of water, working solution consumption 1-2 L/1 bush

Контролем опыта служило ежегодное (2024 и 2025 гг.) весеннее внесение минеральных удобрений в виде смеси аммиачной селитры и сложного удобрения $N_{110}P_{50}K_{60}$. Эксперимент включал трехкратную листовую подкормку черной смородины в различные сроки (таблица 2). Растения в опыте обрабатывали с помощью ранцевого опрыскивателя.

Схема опыта включала 4 варианта: 1 – контроль (фон NPK), 2 – фон + Биостим Рост, 3 – Фон + Бионекс-Кеми Жидкий, 4 – Фон + АгроМастер 18-18-18. Повторность опыта трехкратная, количество растений в варианте 10 штук. Сроки прохождения фаз вегетационного периода определяли согласно программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (1999).

Таблица 2 – Фенологические фазы смородины черной и даты проведения некорневых подкормок
Table 2 – Phenological phases of black currant and dates of foliar feeding

Фазы развития / Phases of development	2024 год / year	2025 год / year	Действия подкормок на растение / Effects of fertilizing on the plant
Фаза активного роста побегов (через 5-10 дней после распускания листьев) / Phase of active shoot growth (5-10 days after leaf unfolding)	06.04	11.04	Обеспечивает растения необходимыми элементами питания, увеличивает интенсивное наращивание зеленной массы / Provides plants with the necessary nutrients, increases the intensive growth of green mass
Начало цветения (за 3-4 дня до массового раскрытия бутонов) / Beginning of flowering (3-4 days before mass bud opening)	30.04	03.05	Улучшает процесс оплодотворения и увеличивает количество завязывания ягод / Improves the fertilization process and increases the number of berries
Формирование ягод (через 3-4 недели после цветения) / Berry formation (3-4 weeks after flowering)	08.06	08.06	Стимулирует увеличение массы ягод и ускоряет созревание / Stimulates the increase in berry weight and accelerates ripening

Участок сортоизучения смородины черной имеет светло-серые лесные легкосуглинистые почвы, с содержанием гумуса 2,27 %, pH (KCl) – 5,67, P_2O_5 – 248 мг/кг почвы, K_2O – 184 мг/кг почвы.

Результаты и их обсуждение. Смородина черная относится к неприхотливым ягодным культурам и имеет широкий ареал распространения. Но следует учитывать, что дефицит тепла и осадков в период вегетации, частые перепады низких температур в зимний период и избыточно высокие температуры летом могут неблагоприятно отразиться, на развитии и росте растений, количестве и качестве урожая.

Начало вегетационного периода у смородины черной происходит при переходе среднесуточной температуры воздуха выше 5 °С. Метеорологические условия вегетационных периодов (март-сентябрь) 2024 и 2025 годов представлены на рисунках 1 и 2.

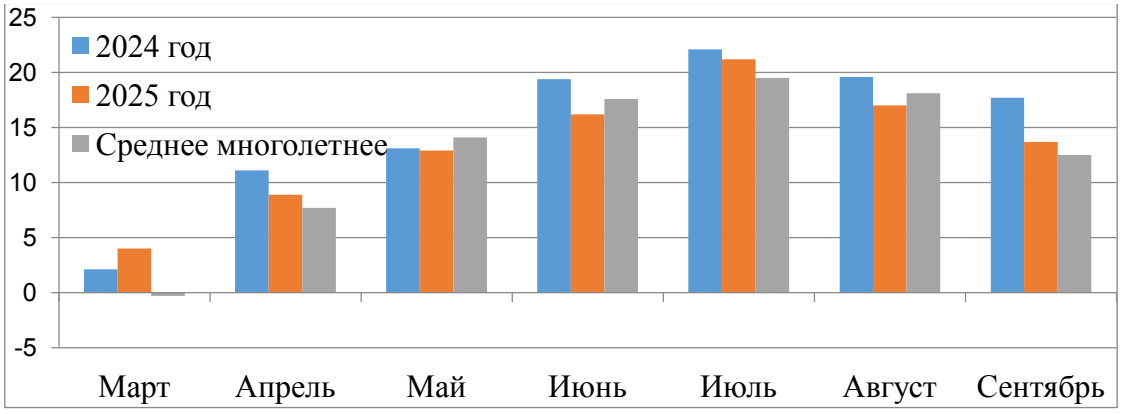


Рисунок 1 – Среднемесячная температура воздуха в годы исследования март-сентябрь 2024, 2025 гг., °С
Figure 1 – Average monthly air temperature during the study years, March-September 2024 and 2025, °C

В марте и апреле 2024 года температурные показатели были выше среднемноголетних на 1,2-6,6 °С и уже во второй декаде марта полностью сошел снежный покров. Конец мая и первые две декады июня были теплее обычного с обилием осадков. В дальнейшем температурный режим находился выше нормы на 2-4 °С, однако наблюдался недостаток влаги. Созревание ягод смородины было неравномерным.

В марте 2025 года температурные показатели были выше среднемноголетних на 3,1-7,1 °С. Наблюдалось обильное выпадение осадков. Во второй декаде апреля 2025 г. началась активная вегетация культуры. Температурный режим первых двух декад мая был ниже нормы на 3,5-4,1 °С, на фоне дефицита осадков. В июне температура воздуха была также ниже среднемноголетних значений, с обильными осадками. Благоприятная погода в июле позволила сформировать хороший урожай ягодных культур. Колебания климатических факторов послужило основой изучение листовых подкормок смородины черной в период вегетации.

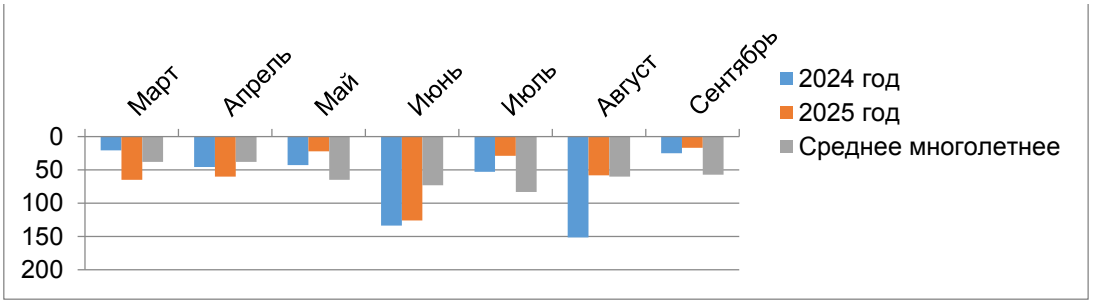


Рисунок 2 – Сумма выпадения осадков 2024, 2025 (март-сентябрь), мм
Figure 2 – Precipitation amount in 2024 and 2025 (March-September), mm

Начальная фаза вегетации отмечается от набухания почек до выдвижения зеленого конуса. Начало распускания почек у смородины черной сорта Селеченская 2 в 2024 году было зафиксировано 31 марта, а в 2025 году на пять дней позже – 5 апреля.

Изучаемые минеральные комплексы в качестве листовых подкормок оказали положительное и неоднозначное влияние на наступление основных фенологических фаз.

Первую листовую подкормку проводили на 10-й день после распускания почек.

На сроки начала цветения смородины черной в первую очередь влияет температура воздуха – чем она выше, тем раньше наступает цветение. Жидкие удобрения также ускорили процесс начала цветения в 2024 году на 1 день (28 апреля) и в 2025 году на 3 дня (30 апреля) относительно контрольного варианта (таблица 3).

В 2025 году изучаемые удобрения сократили интервал между началом распускания и цветением на 3 дня (30 апреля, 2 мая у контроля).

На растениях обработанных АгроМастер 18-18-18 отмечалось увеличение продолжительности фазы цветения до двух дней. Что вероятно связано с высоким содержанием азота в этом комплексе.

Таблица 3 – Влияние листового питания на наступления основных фенологических фаз развития смородины черной
Table 3 – Influence of foliar nutrition on the onset of the main phenological phases of black currant development

Варианты опыта, норма внесения удобрения / Experience options, fertilizer application rate	Начало распускания почек / The beginning of budding	Цветение / Blossom		Созревание / Maturation		Листопад / Leaf fall	
		начало / beginning	число дней / number of days	начало / beginning	число дней / number of days	начало / beginning	число дней / number of days
2024 год / year							
Контроль / Control	31.03	29.04	8-9	04.07	6-7	20.09	9-12
Биостим Рост, 2 л/га / Biostim Rost, 2 l/ha	31.03	28.04	9-10	04.07	7-9	23.09	11-14
Бионекс-Кеми Жидкий, 3 л/га / Bioneks-Kemi Liquid, 3 l/ha	31.03	28.04	9-10	04.07	7-9	23.09	11-14
АгроМастер 18-18-18, 2,5 л/га / AgroMaster 18-18-18 2.5 l/ha	31.03	28.04	9-11	05.07	8-12	25.09	12-16
2025 год / year							
Контроль / Control	05.04	02.05	9-11	09.07	7-8	18.09	10-13
Биостим Рост, 2 л/га / Biostim Rost, 2 l/ha	05.04	30.04	10-12	09.07	8-10	19.09	10-13
Бионекс-Кеми Жидкий, 3 л/га / Bioneks-Kemi Liquid, 3 l/ha	05.04	30.04	10-12	09.07	8-10	19.09	10-13
АгроМастер 18-18-18, 2,5 л/га / AgroMaster 18-18-18 2.5 l/ha	05.04	30.04	10-13	10.07	9-12	20.09	11-14

Листовые подкормки минеральными комплексами продлили созревание ягод от двух до пяти дней в зависимости от изучаемых минеральных комплексов относительно контрольного варианта. На контроле продолжительность созревания ягод составляли в среднем 6-8 дней, на растениях обработанных комплексными удобрениями Биостим Рост и Бионекс-Кеми Жидкий этот период увеличился на два дня. Установлено, что в варианте с применением АгроМастер 18-18-18 с микроудобрениями в форме хелатов плоды созревали позже остальных на 3-6 дней.

Листопад начинался позже у обработанных вариантов (на три-четыре дня) относительно контроля. А продолжительность листопада продолжалась в среднем 9-16 дней. В варианте *АгроМастер 18-18-18* был установлен и максимальный межфазный период начала и конца листопада (14 и 16 дней).

Обработка препаратом *АгроМастер 18-18-18* замедляет созревание ягод, продлевая общий цикл вегетации. Препараты способствуют ранней стадии цветения и небольшому увеличению продолжительности периода вегетации, что потенциально выгодно для увеличения срока потребления ягод в свежем виде.

Библиографический список

1. Степанова Е. М., Луговая Е. А. Макро- и микроэлементный профиль плодов смородины черной (Ribes nigrum L.), произрастающей в Северо-восточном регионе России. Вопросы питания. 2019. Т. 88. № 4. С. 83-87.

2. Zeng Y., Zhou W., Yu J., Zhao L., Wang K., Hu Z. et al. By-Products of Fruit and Vegetables: Antioxidant Properties of Extractable and Non-Extractable Phenolic Compounds. Antioxidants. 2023. No 12 (2). Art. 418.

3. Галикеева И. З., Хасанова З. М., Хасанова Л. А. Диетические и лечебно-профилактические свойства смородины черной (Ribes nigrum L.). Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2018. № 2 (46). С. 30-35.

4. Макаркина М. А., Князев С. Д., Ветрова О. А. Компоненты антиоксидантной активности в ягодах смородины черной сортов селекции ВНИИСПК. Садоводство и виноградарство. 2024. № 5. С. 22-28.

5. Дулов М. И., Антипенко М. И., Заика А. С. Биохимический состав плодов смородины черной в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2024. № 1 (59). С. 43-47.

6. Волобуева Н. В., Левшаков Л. В. Листовое питание как значимый фактор повышения продуктивности интенсивного яблоневого сада. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1. С. 64-70.

7. Авдеева З. А., Аминова Е. В., Салимова Р. Р. Влияние органоминерального удобрения на выход и качество рассады при доращивании розеток земляники садовой в условиях Оренбуржья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (86). С. 110-114.

8. Есаулко А. Н., Гарибджанян Г. А., Голосной Е. В. и др. Эффективность применения жидких и твердых азотных минеральных удобрений в ранневесеннюю подкормку посевов озимой пшеницы. Земледелие. 2020. № 3. С. 38-40.

9. Зыков А. В., Юнин В. А. Влияние биологически активного органического удобрения на прирост и урожайность смородины черной. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4 (82). С. 257-266.

10. Меделяева А. Ю., Трунов Ю. В., Брюхина С. А. Влияние некорневых подкормок удобрениями и микроэлементами на распространение вредителей и болезней в насаждениях смородины черной в тамбовской области. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (74). С. 29-33.

11. Макаров С. С., Кузнецова И. Б. Влияние внекорневых обработок на процесс побегообразования растений черной смородины на этапе адаптации. Известия Оренбургского ГАУ. 2020. № 2 (82). С. 111-114.

12. Почтенная А. И. Влияние комплексных удобрений пролонгированного действия и фолиарной обработки лигногуматомна агрохимические свойства почвогрунта при выращивании черной смородины. Агрохимический вестник. 2025. № 2. С. 16-22.

13. Трунов Ю. В., Меделяева А. Ю., Медведев А. Г. Влияние некорневых подкормок удобрениями и микроэлементами на содержание сухих веществ и кислотность ягод смородины черной. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2019. № 2. С. 10-13.

14. Трунов Ю. В., Меделяева А. Ю., Соловьев А. В. Влияние некорневых подкормок удобрениями и микроэлементами на продуктивность смородины черной в Тамбовской области. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020. № 1 (60). С. 15-21.

15. Методические указания по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве. https://legalacts.ru/doc/metodicheskie-ukazanija-po-provedeniiu-registratsionnykh-ispytanii-agrokhimikatov-v-selskom/

References

1. Stepanova E. M., Lugovaya E. A. Macro- and microelement profile of black currant (Ribes nigrum L.) fruits grown in the North-Eastern region of Russia. Nutrition Issues. 2019. V. 88. No 4. Pp. 83-87.

2. Zeng Y., Zhou W., Yu J., Zhao L., Wang K., Hu Z. et al. By-Products of Fruit and Vegetables: Antioxidant Properties of Extractable and Non-Extractable Phenolic Compounds. Antioxidants. 2023. No 12 (2). Art. 418.

3. Galikeeva I. Z., Khasanova Z. M., Khasanova L. A. Dietary and medical-prophylactic properties of black currant (Ribes nigrum L.). Proceedings of the Bashkir State Pedagogical University. 2018. No 2 (46). Pp. 30-35.

4. Makarkina M. A., Knyazev S. D., Vetrova O. A. Components of antioxidant activity in black currant berries of VNIISPK varieties. Horticulture and Viticulture. 2024. No. 5. Pp. 22-28.

5. Dulov M. I., Antipenko M. I., Zaika A. S. Biochemical Composition of Blackcurrant Fruits in the Forest-Steppe Zone of the Middle Volga Region. Theoretical and Applied Problems of the Agro-Industrial Complex. 2024. No 1 (59). Pp. 43-47.

6. Volobueva N. V., Levshakov L. V. Leaf nutrition as a significant factor in increasing the productivity of an intensive apple orchard. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2024. No 1. Pp. 64-70.

7. Avdeeva Z. A., Aminova E. V., Salimova R. R. Influence of organic-mineral fertilizer on the yield and quality of seedlings during the growth of garden strawberry rosettes in the Orenburg region. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No 6 (86). Pp. 110-114.

8. Esaulko A. N., Garibdzhanyan G. A., Golosnoy E. V. et al. The effectiveness of using liquid and solid nitrogen mineral fertilizers in early spring fertilization of winter wheat crops. Agriculture. 2020. No 3. Pp. 38-40.

9. Zykov A. V., Yunin V. A. Influence of biologically active organic fertilizer on the growth and yield of black currant. Proceedings of the NV AUC. 2025. No 4 (82). Pp. 257-266.

10. Medelyaeva A. Yu., Trunov Yu. V., Bryukhina S. A. Influence of foliar fertilization with fertilizers and microelements on the spread of pests and diseases in black currant plantations in the Tambov region. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2023. No 3 (74). Pp. 29-33.

11. Makarov S. S., Kuznetsova I. B. The effect of foliar treatments on the shoot formation process of black currant plants at the adaptation stage. Proceedings of the Orenburg SAU. 2020. No 2 (82). Pp. 111-114.

12. Pochtennaya A. I. The effect of complex fertilizers with prolonged action and foliar treatment with lignohumate on the agrochemical properties of soil and soil-and-plant mixtures when growing black currant. Agricultural chemistry News. 2025. No 2. Pp. 16-22.

13. Trunov Yu. V., Medelyaeva A. Yu., Medvedev A. G. Influence of foliar fertilization with fertilizers and microelements on the content of dry matter and acidity of black currant berries. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2019. No 2. Pp. 10-13.

14. Trunov Yu. V., Medelyaeva A. Yu., Solovyov A. V. Influence of foliar fertilization with fertilizers and microelements on the productivity of black currant in the Tambov region. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2020. No 1 (60). Pp. 15-21.

15. Guidelines for conducting registration tests of agrochemicals in agriculture. https://legalacts.ru/doc/metodicheskie-ukazanija-po-provedeniiu-registratsionnykh-ispytanii-agrokhimikatov-v-selskom/

Информация об авторах

Акуленко Елена Георгиевна, руководитель направления, ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» (Российская Федерация, 241524, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, 2), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0173-1230, e-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Островская Светлана Михайловна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» (Российская Федерация, 241524, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, 2), ORCID: https://orcid.org/ 0009-0004-4494-8570, e-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Новикова Наталья Николаевна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» (Российская Федерация, 241524, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, 2), ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9606-4355, e-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Дорошенко Елена Анатольевна, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» (Российская Федерация, 241524, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, 2), e-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Анишко Михаил Юрьевич, директор, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФГБНУ ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» (Российская Федерация, 241524, Брянская область, Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, 2), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5803-0507, e-mail: lupin_mail@mail.ru

Authors' Information

Akulenko Elena Georgievna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department, Leader Researcher, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – the branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (Russian Federation, 241524, Bryansk region, Mitchurinsky, Berezovaya Str., 2), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0173-1230, e-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Ostrovskaya Svetlana Michailovna, Junior Researcher, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – the branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (Russian Federation, 241524, Bryansk region, Mitchurinsky, Berezovaya Str., 2), ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4494-8570, e-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Novikova Natalia Nikolaevna, Junior Researcher, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – the branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (Russian Federation, 241524, Bryansk region, Mitchurinsky, Berezovaya Str., 2), ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9606-4355, e-mail: lupin.plodopr@mail.ru

Doroshenko Elena Anatolyevna, Junior Researcher, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – the branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (Russian Federation, 241524, Bryansk region, Mitchurinsky, Berezovaya Str., 2), e-mail: lupin_nvmisnikova@mail.ru

Anishko Michail Yur'evitch, Director, Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – the branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology (Russian Federation, 241524, Bryansk region, Mitchurinsky, Berezovaya Str., 2), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5803-0507, e-mail: lupin_mail@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-15

THE SPRING DURUM WHEAT WEEDS MONITORING UNDER THE HERBICIDE EXPOSURE

Vasileva T. N.

Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vtn1972@mail.ru

Received 24.04.2026 Submitted 22.07.2026

The studies were carried out within the theme FNWZ-2022-0015: Develop new high-yielding varieties of cereal and grain-legume crops and potatoes possessing a complex of agronomical valuable traits and enhanced resistance to biotic and abiotic stress factors, based on comprehensive research into bio resources; improve the genetic pool; refine the seed production system; develop new cultivation techniques for these crops; and develop effective methods for assessing genetic potential using DNA technologies for the breeding improvement of cereal crops and the creation of varieties with specific agronomical valuable properties.

Summary

The article presents the results of research on weed vegetation in spring durum wheat agricultural phytocenoses. Phytosanitary zoning conducted to reduce the impact of weeds on agricultural phytocenoses. Studying weed species composition and identifying herbicide-resistant species is a significant area of research in agriculture.

Abstract

Introduction. Major crop losses are also associated with weeds infesting crops. For each variety of cultivated grain plants, its own species community of weeds formed. Herbicides are toxic and selectively kill weeds. To achieve high grain yields, it is necessary to modernize the current crop protection methods. The study of the species composition of weeds and the identification of herbicide-resistant species is a relevant area of research for agriculture. **Object.** Herbarium samples were collected in the study areas, and the 143 samples were collected. To monitor weed vegetation, observations were carried out in the spring before the emergence of crop seedlings and in the summer, during the active flowering phase, after treating the plants with herbicide to identify dominant weeds in the fields that are resistant to chemical exposure. **Material and methods.** Plant identification was carried out using the “Identifier of vascular plants of the Orenburg region”. **Result and conclusions.** The article presents the results of studies of weed-field vegetation of agricultural phytocenoses of spring hard wheat crops. Agricultural phytocenosis № 1 is a control plot without herbicide treatment; agricultural phytocenosis № 2 is an experimental plot using herbicides. As a result of spring studies of agro-phytocenosis № 1, 26 species of weeds from 9 families with the dominance of Sonchus arvensis L. were identified, the maximum number of weeds was 112 pieces per 1 m^2, the average number was 58 pieces per 1 m^2. The codominant weed of agricultural phytocenosis №1 is *Cirsium setosum* (Willd.) Bess. – 72 pieces per 1 m^2, average number is 38 pieces per 1 m^2. In agro-phytocenosis № 2, 23 plant species from 8 families were counted. In the agricultural phytocenosis treated with herbicide, *Amaranthus retroflexus* L. – weed 2; *Chenopodium foliosum* Aschers dominated. The herbicide Aminka FLO with a treatment rate of 0.5 l / ha in the period from July 6-7 2025 contributed to a sharp decrease in the number of weeds to 2 species: *Amaranthus retroflexus* L., *Chenopodium foliosum* Aschers. Weeds of the studied agricultural cenoses were distributed. The main recommendations for the study of weed-field vegetation are identification, systematization of plant species, their monitoring on agricultural lands. Monitoring of weed vegetation at the regional level is necessary to identify dangerous invasive plant species in order to develop a system for monitoring and protecting cultivated crops.

Keywords: *spring wheat, spring wheat crops, weed infestation of spring wheat crops, monitoring of weed vegetation, dangerous invasive plants, treatment of spring wheat crops.*

Citation. Vasilyeva T. N. The spring durum wheat weeds monitoring under the herbicide exposure. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 140-148 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-15.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 633.112.1:632.954(470.56)

МОНИТОРИНГ СОРНЯКОВ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГЕРБИЦИДА

Васильева Т. Н., *кандидат биологических наук*

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
г. Оренбург, Российская Федерация

Исследования проводились в рамках темы FNWZ-2022-0015: «Создание новых высокопродуктивных сортов зерновых, зернобобовых культур и картофеля, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков и повышенной устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессовым факторам, на основе комплексного изучения биоресурсов; совершенствование генофонда; оптимизация системы семеноводства; разработка новых технологий возделывания данных культур; а также разработка эффективных методов оценки генетического потенциала с использованием ДНК-технологий для селекционного улучшения зерновых культур и создания сортов с заданными хозяйственно ценными свойствами».

Актуальность. Потери урожая зерновых культур связаны с сорняками. Для каждого сорта культурных растений формируется собственное видовое сообщество сорняков. Гербициды токсичны и избирательно уничтожают сорняки. Для получения высоких урожаев зерна необходимо модернизировать существующие методы защиты растений. Изучение видового состава сорняков и выявление гербицидоустойчивых видов являются актуальным направлением исследований в сельском хозяйстве. **Объект.** На исследуемых участках был проведен сбор гербарных образцов, всего собрано 143 образца. Для мониторинга сорной растительности наблюдения проводились весной до появления всходов сельскохозяйственных культур и летом, в период активного цветения, после обработки растений гербицидом для выявления доминирующих на полях сорняков, устойчивых к химическому воздействию. **Материалы и методы.** Идентификация растений проводилась с использованием «Определителя сосудистых растений Оренбургской области». **Результаты и выводы.** В статье представлены результаты исследований сорно-полевой растительности агрофитоценозов посевов яровой твердой пшеницы. Агрофитоценоз № 1 – контрольный участок без обработки гербицидами; агрофитоценоз № 2 – опытный участок с использованием гербицида. В результате весенних исследований агрофитоценоза № 1 было выявлено 26 видов сорно-полевых растений из 9 семейств с доминированием *Sonchus arvensis* L., максимальное число сорняков составило 112 штук на 1 м^2, средняя численность – 58 штук на 1 м^2. Кодоминантом среди сорняков агрофитоценоза № 1 является *Cirsium setosum* (Willd.) Bess.– 72 штуки на 1 м^2, средняя численность 38 штук на 1 м^2. На агрофитоценозе № 2 насчитали 23 вида растений из 8 семейств. На обрабатываемом гербицидом агрофитоценозе доминировали *Amaranthus retroflexus* L. – сор ^{2}; *Chenopodium foliosum* Aschers. Гербицид Аминка ФЛО с нормой расхода 0,5 л/га, примененный в период с 6 по 7 июля 2025 года, способствовал резкому уменьшению численности сорных растений до 2 видов: *Amaranthus retroflexus* L., *Chenopodium foliosum* Aschers. Основными рекомендациями по исследованию сорно-полевой растительности являются идентификация, систематизация видов растений и их мониторинг на землях сельскохозяйственного назначения. Мониторинг сорно-полевой растительности на региональном уровне необходим для выявления опасных инвазионных видов растений с целью разработки системы контроля и защиты возделываемых культур.

Ключевые слова: *яровая пшеница, посевы яровой пшеницы, засоренность посевов яровой пшеницы, мониторинг сорной растительности, опасные инвазионные растения, обработка посевов яровой пшеницы.*

Цитирование. Васильева Т. Н. Мониторинг сорняков яровой твердой пшеницы при воздействии гербицида. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 140-148. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-15.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Одна из важнейших мировых проблем, стоящих на протяжении всего существования человечества, – это проблема нехватки продовольствия [1]. Причинами такой ситуации могут быть перенаселенность отдельных регионов [2], урбанизация, развитие промышленности, приводящее к повышению температуры на планете, дефицит пресной воды, усиление процессов опустынивания [3, 4], приводящих к снижению урожайности сельскохозяйственных культур [5]. Большая потеря урожая также связана с сорняками, засоряющими посевы [6]. Изменение климата усиливает воздействие сорняков, представляя

значительную угрозу устойчивому производству сельскохозяйственных растений [3-6]. В сельском хозяйстве наиболее известным и результативным по отношению к другим способам борьбы с сорняками является химический метод. Гербициды токсичны и избирательно уничтожают сорные растения. Для получения высокого урожая зерновых культур необходимо модернизировать применяемые средства защиты, разрабатывать новые технологические приёмы возделывания сельскохозяйственных культур во избежание формирования механизмов адаптивности сорных растений к химическим препаратам [7, 8]. Из всех растений выделяют группу сегетальных (сорных), произрастающих на вторичных местообитаниях (полях), которые наиболее адаптивны к изменяющимся условиям среды обитания [9]. Таким образом, формируется наиболее адаптивное сообщество растений из трудноискоренимых пропашных сорняков. Исследования проводили в посевах пшеницы твердой яровой «Целинница» *(Triticum durum* Desf.). Для каждого сорта культурных зерновых растений формируется своё видовое сообщество сорняков, из них выделяют доминанты и кодоминанты. Изучение видового состава сорняков и выделение видов, устойчивых к гербицидам, является актуальным направлением исследований для сельского хозяйства.

Целью исследования является изучение видового состава сорняков в посевах зерновых культур, устойчивых к химическому воздействию гербицидов.

Материалы и методы. Оренбургский район занимает центральное положение в области, площадь его территории составляет 5,6 тыс. км^2. Административный центр – город Оренбург с подчиненными ему населенными пунктами, занимающий 0,9 тыс. км^2. Район исследования расположен в 44 км от Оренбурга в центральной части Оренбургской области, входит в Общий Сырт предуральской возвышенной степной провинции и находится в месте слияния крупных рек степного Предуралья – Урала и Сакмары. По ландшафтному расположению почвы элювиальные. Климат района исследования континентальный. Среднегодовая температура составляет около +3,1 °С, среднегодовое количество осадков за этот период – 347,2 мм. Основной почвенный фон характеризуется южными черноземами, количество гумуса в них составляет 7-8 % при мощности почвенного слоя до 30-40 см.

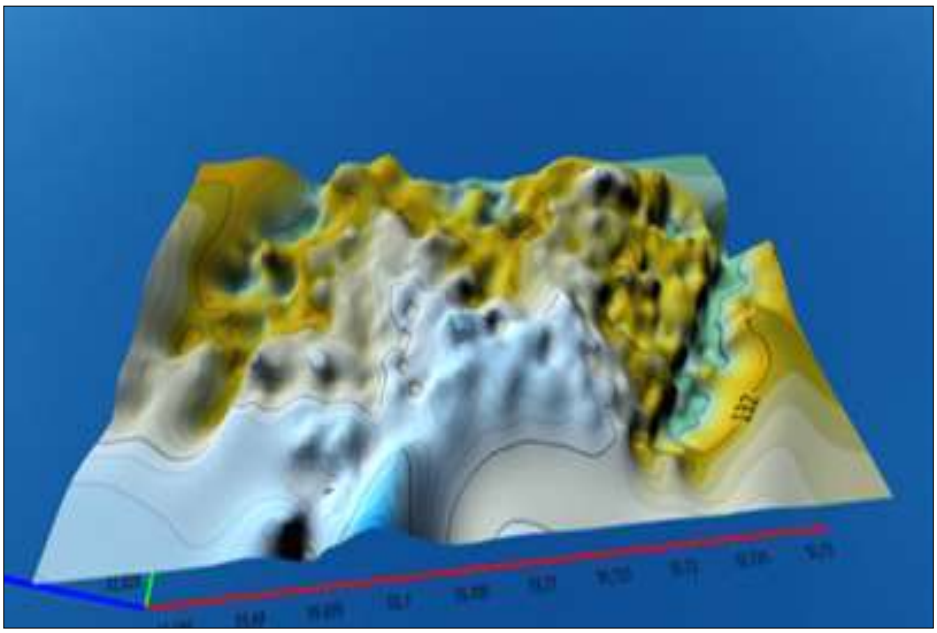


Рисунок 1 – Схематическая карта исследуемой территории в формате 3-D
Figure 1 – Schematic map of the study area in 3-D format

Подготовка участка состояла из глубокого рыхления БДТ-7 и К-700. Проведены весеннее боронование участка, культивация культиватором КПС-4, послепосевное прикатывание кольчато-шпоровыми катками. Изучалась сорно-полевая растительность на территории экспериментальных полей ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. При описании сравнивались участки посевов твёрдой пшеницы, обработанные и необработанные гербицидами. Для мониторинга сорно-полевой растительности проводили наблюдения весной до появления всходов

культурных растений и летом, в активную фазу цветения, после обработки растений гербицидом для выявления сорняков-доминатов на полях, устойчивых к химическому воздействию. Первую серию исследований сорно-полевой растительности проводили в фазу всходов до обработки гербицидом с 24.05.2025 года по 25.06. 2025 года. Вторую серию исследований проводили с 01.07.2025 года по 01.08.2025 года после обработки гербицидом. На участках исследования проводился сбор гербария, всего собрано 143 листа. Идентификацию растений проводили с использованием определителя (Рябинина З. Н., Князев М. С. «Определитель сосудистых растений Оренбургской области». М.: Тов. науч. изд. КМК, 2009. − 758 с.).

Исследования проводили на двух участках посевов твердой пшеницы сорта Целинница (таблица 1).

Участок № 1 – контроль без гербицидов.

Участок № 2 – опыт с использованием гербицидов.

Таблица 1 – Координаты района исследований
Table 1 – The research area coordinates

№ участка / plot	E	N
1	51.934862	55.643242
2	51. 936593	55.624838

Результаты. На первом этапе мониторинга контрольного участка агрофитоценоза № 1 (без гербицида) в период с 24.05.2025 по 25.06.2025 года было выявлено 10 видов растений. Семейство Asteraceae насчитывает 6 видов. Из них к роду Cirsium Mill. относятся 3 вида злостных корнеотпрысковых сорняков. К роду Sonchus L. относятся также 3 вида сорняков, произрастающих на одном агрофитоценозе. К семейству Polygonaceae относятся 2 вида сорняков. Представители семейств Amaranthaceae и Convolvulaceae содержат по 1 виду сорных растений. Согласно классификации (Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М.: Высш. шк., 1962. − 378 с.), было выявлено 10 видов растений, относящихся к травянистым формам. По продолжительности жизни все выявленные сорные растения подразделяются на малолетние и многолетние. Среди однолетников насчитывают 6 видов, остальные виды многолетники. Среди малолетних видов по особенностям роста выделено 3 яровых сорняка: ранних − 2, поздних − 1 вид. По особенностям строения подземных органов на исследуемом участке выделили 7 многолетних корнеотпрысковых сорняков. Согласно классификации (Raunkiær Ch. Plant life forms. Transl. from Danish by H. Gilbert-Carter. Oxford: Clarendon Press, 1937. − 104 p.) были выделены биоморфы относительно расположения почек возобновления и окончания побегов: геофиты − 7 видов, терофиты − 3 вида. По отношению к эколого-фитоценотической группе выделено 9 видов сорных растений, относящихся к лугово-степной группе и только 1 вид – к болотной. Согласно базе данных «Флора сосудистых растений Центральной России», исследуемые виды относятся к подлинным − 6 видов и 4 вида − сорняки. Разделение растений относительно типа ареала по Мезелю:− European-West Asian – 3, Circumpolar − 5, European-Asian − 2. Согласно российской классификации выделена среднеевропейская группа растений – 10 видов. По отношению к влаге выделены: ксеромезофиты – 1, мезоксерофиты – 3, мезофиты − 4, мезогигрофиты − 2 вида. На агроценозе участка № 1 весной доминировали представители рода Sonchus– сор ^{2} с максимальным количеством 112 штук растений на 1 м^2, при общем проективном покрытии (ОПП) − 30-40 %, на некоторых участках поля отмечали минимальное количество штук 1-4 (рисунок 2). Среднее количество сорняков − 58 штук. На участке № 1 максимальное количество растений *Cirsium setosum* (Willd.) Bess – сор^{1}, 72 штуки на 1 м^2, на некоторых участках поля отмечали минимальное количество растений 1-4 на 1 м^2 при общем проективном покрытии (ОПП) – 40-50 %. Среднее количество *Cirsium setosum* (Willd.) Bess. − 38 штук на 1 м^2. На участке № 1 доминировали представители рода Sonchus, кодоминантами среди сорняков являются *Cirsium setosum* (Willd.) Bess и *Sonchus arvensis* L. + *Cirsium setosum* (Willd.) Bess.

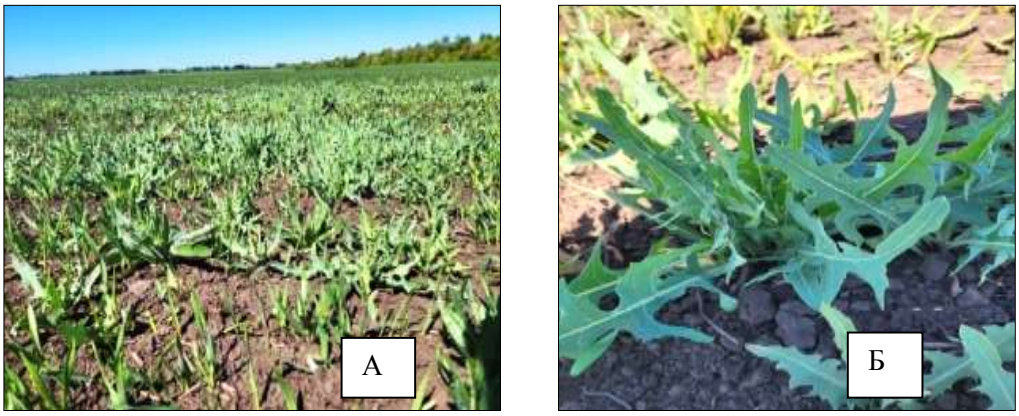


Рисунок 2 – А, Б. Агрофитоценоз 1 (контрольный участок). Весна 2025 г.
Figure 2 – А, В. Agricultural phytocenosis 1 (control plot). Spring, 2025

Очередные наблюдения проводили через 40 дней в период с 01.07.2025. Эти наблюдения показали смену сорно-полевой растительности (рисунок 3). На агрофитоценозе № 1 – контрольном участке без обработки гербицидами – выявили 26 видов растений из 9 семейств. Самыми многочисленными являются Asteraceae − 11 видов, Chenopodioídeae − 4 вида, Convolvulaceae – 1 вид, Crucíferae − 2 вида, Polygonaceae − 2, Poaceae – 1 вид, Euphorbiaceae − 2, Ranunculaceae − 1, Fabaceae − 2. Все виды относятся к травянистым формам − 26 видов. Из них − 13 видов однолетники: яровые ранние сорняки представлены 10 видами, поздние сорняки − 1 вид, двулетник яровой − 1 вид, культурный − 1 и 13 видов сорняков относятся к многолетникам, из них 9 видов − корнеотпрысковые, со стержневым корнем − 2 вида, ползучекорневые − 1 вид, клубнекорневые − 1 вид. Согласно классификации (Raunkiær Ch. Plant life forms. Transl. from Danish by H. Gilbert-Carter.Oxford: Clarendon Press, 1937− 104 p.), выделены жизненные формы растений относительно расположения почек возобновления и окончания побегов: геофиты − 13 видов, терофиты − 13 видов. Согласно эколого-фитоценотической классификации: лугово-степная группа 18 видов, 5 − адвентивные, 3 − болотная и только 1 вид бореальная группа. В соответствии с базой данных «Флора сосудистых растений Центральной России», исследуемые виды представлены подлинными − 16 видов, 9 видов к сорнякам России, 1 вид заносные. Разделение растений относительно типа ареала происхождения по Мезелю: European-Asian – 7 видов, European-West Asian – 5, Circumpolar − 7, European-Asian − 4, European-West Sibirian − 3 вида. Согласно российской классификации выделяют следующие элементы флоры бореальные − 3, среднеевропейские – 23 вида. По отношению к влаге выделены: ксеромезофиты − 2; мезоксерофиты − 5; мезофиты − 16 видов, мезогигрофиты − 3 вида. На исследуемом агрофитоценозе участка № 1 доминировали представители рода Sonchus L. – сор^2, кодоминант представители рода Cirsium Mill.– сор^1.

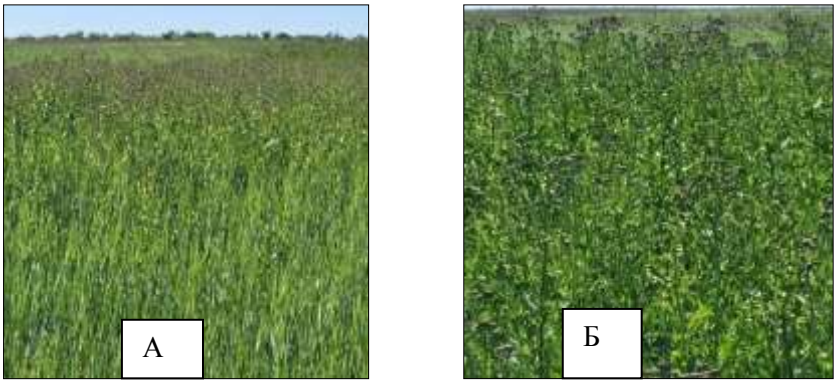


Рисунок 3 – А, Б – Агрофитоценоз, участок № 1 (контроль), не обработанный гербицидом
Figure 3 – А, В − Agricultural phytocenosis, plot № 1 (control) not treated with herbicide

Исследование агроценоза на участке № 2 – опытный, обработанный гербицидом проводили в период с 24.05.2025 по 25.06.2025 года (рисунок 4). Выявлено 23 вида растений из 8 семейств. Самыми многочисленными являются Asteraceae − 8 видов, Chenopodioídeae − 4 вида, Crucíferae − 3 вида, Poaceae – 2 вида, Polygonaceae − 2, Fabaceae − 2, остальные по 1 виду. В соответствии с классификацией (Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М.: Высш. шк., 1962. − 378 с.), к травянистым формам относят − 22 вида, 1 – древесным. Среди травянистых форм различают однолетники − 12 видов растений, из них к яровым ранним относят − 5 видов сорняков, поздним − 4 вида, одно- и двулетники представлены 3 видами; 10 видов относят к многолетникам, из них 5 видов – корнеотпрысковые растения.

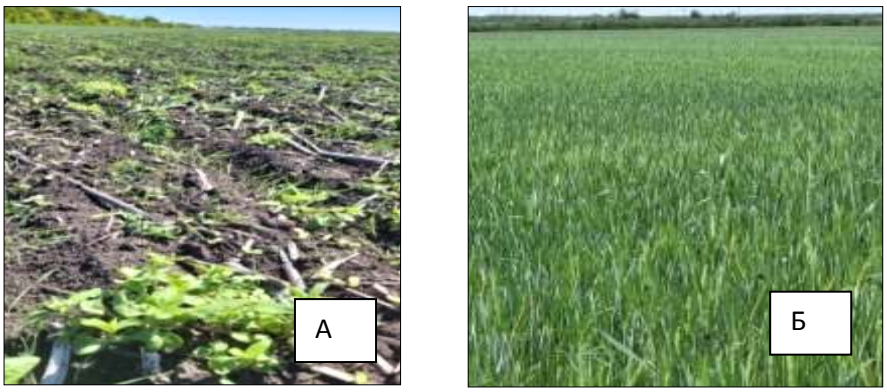


Рисунок 4 – А− Агрофитоценоз № 2 до обработки гербицидом; Б − после обработки гербицидом
Лето 2025 г.
Figure 4 – A − Agricultural phytocenosis № 2 before herbicide treatment;
B – After treatment with herbicide. Summer 2025

По категориям жизненных форм растений, относительно расположения почек возобновления и окончания побегов, их делят на: геофиты − 9 видов, терофиты − 12 видов и 1 − фанерофиты. По отношению к эколого-фитоценотическим группам 15 видов сорных растений относят к: лугово-степной группе, 5 – к адвентивным, 3 – к болотным и 1 вид – к бореальной группе. Согласно базе данных «Флора сосудистых растений Центральной России», исследуемые виды представлены видами original (подлинными) – 13, к сорнякам России – 8 видов, 1 – к заносным, 1 – к культурным. Разделение растений относительно типа ареала происхождения по Мезелю: European-West Asian – 12, Circumpolar − 6, European-Asian − 4, American − 1. Согласно российской классификации выделяют следующие элементы флоры бореальные – 2, среднеевропейские – 21 вид. По отношению к влаге выделяют виды растений, относящиеся к группам: ксеромезофиты − 2; мезоксерофиты – 4; мезофиты – 15, мезогигрофиты – 2.

Весной на исследуемом агрофитоценозе участка № 2 (до обработки гербицидом) доминировали представители рода Amaranthus: насчитали максимальное количество растений этого рода составило − 54 шт. на 1 м^2, при этом на некоторых участках агрофитоценоза было минимальное количество растений этого рода до 1-3 шт. Таким образом, на опытном поле № 2 среднее количество сорняков Amaranthus retroflexus L. − 28 шт. на 1 м^2 (рисунок 4 А). Для характеристики обилия встречающихся видов растений на единицу площади агрофитоценоза представители этого рода относятся к сор2 при ОПП – 30-40 %.

Кодоминантом среди сорняков агрофитоценоза № 2 является Chenopodium foliosum Aschers: выявлено максимальное количество растений − 25 шт. на 1 м^2, при этом на некоторых участках агрофитоценоза № 2 отмечали минимальное количество растений 0-4 штуки. Среднее число Chenopodium foliosum Aschers в агроценозе № 2 составило 14 шт. на 1 м^2, этот вид в исследуемом агроценозе относится к сор1, при ОПП = 10-25 %. На участке № 2 доминировали представители рода Amaranthus, кодоминантом среди сорняков является Chenopodium foliosum Aschers – Amaranthus retroflexus L. + Chenopodium foliosum Aschers.

Идентификация сорно-полевых растений в пределах агрофитоценоза участка № 2 после обработки гербицидом Аминка ФЛО 0,5 л/га в период с 6 по 7 июля 2025 года способствовала резкому уменьшению численности сорных растений до 2 видов: Amaranthus

retroflexus L., Chenopodium foliosum Aschers. (рисунок 4). По категориям жизненных форм растений относительно расположения почек возобновления и окончания побегов выявлены терофиты – 2 вида. Согласно эколого-фитоценотической классификации 2 вида растений относятся к болотной группе. Эти виды числятся в базе данных «Флора сосудистых растений Центральной России» как сорные. Ареалы происхождения по Мезелю: European-Asian − 1, Circumpolar − 1. По отношению к влаге: мезоксерофиты − 1; мезофиты − 1. После обработки гербицидом Аминка ФЛО численность сорных растений осталась на уровне 4 штуки на 1 м^2. Такая надземная концентрация ионов органической природы гербицида токсична для всех растений, не являющихся аккумуляторами. Таким образом, данные виды растений переносят химическое воздействие.

Для комплексных мер борьбы с сорной растительностью предполагается картировать сорняки на обрабатываемых полях, выбирать научно обоснованные селективные гербициды с использованием новейших агротехнических приёмов.

Обсуждение. В системе мероприятий по увеличению продуктивности возделываемых культур важная роль принадлежит борьбе с сорняками. Особенно важной является идентификация карантинных и ядовитых сорняков агрофитоценозов. Харченко В. Е. и др. [10] при исследовании сельскохозяйственных угодий и изучении сорной растительности, также использовали традиционные методы геоботанических описаний. Различные виды сорных растений неодинаково относятся к различным мерам, применяемым для их уничтожения. В наших исследованиях использовали гербицид избирательного действия (Аминка Фло). Нами было установлено, что на агрофитоценозе № 1 (контрольный участок) выявлено 26 видов растений из 9 семейств, на агрофитоценозе № 2 (опытный участок) насчитали 23 вида растений из 8 семейств; так после обработки гербицидом участка № 2 отмечали уменьшение видового разнообразия до 2 видов сорно-полевой растительности и высокую эффективность препарата Аминка ФЛО. Так, в исследовательской работе Зубкова Т. В. и др. [11] установили, что при применении гербицида Шанс ДКБ, ВР в дозе 0,3 л/га при уровне засоренности культуры малолетними двудольными до 15 шт./м^2, а многолетними корнеотпрысковыми до 16 шт./м^2 гибель малолетников составила 99 %, многолетников – 93 %. Под влиянием гербицида Балерина, СЭ в дозе 0,5 г/га соответственно 94 и 90 %.

По результатам исследований Мамеева В. В. и других авторов [12] при изучении агроценозов отмечено наличие 18 малолетних и многолетних видов, относящихся к шести эколого-биологическим группам. Выявлен малолетний тип засорённости посевов и среди сорных растений доминирующими были яровые поздние, на их долю по годам приходилось 69,7-72,8 %, из которых наиболее распространёнными явились просо куриное и виды щетинника.

Таким образом, наши исследования продемонстрировали, что Amaranthus retroflexus L. и Chenopodium foliosum Aschers в агрофитоценозах устойчивы и приспособлены не только к обычным агротехническим приемам ухода за посевами, но и химическому воздействию применяемому гербициду.

Заключение. В результате весенних исследований агрофитоценоза участка № 1 (контроль без гербицида) за период наблюдений выявили 26 видов растений из 9 семейств. На участке № 1 доминировали представители рода Sonchus, кодоминантами среди сорняков являются Cirsium setosum (Willd.) Bess. – Sonchus arvensis L. + Cirsium setosum (Willd.) Bess., при общем проективном покрытии (ОПП) − 30-40 %,

За период наблюдений на агрофитоценозе № 2 выявлено 23 вида растений из 8 семейств. На участке доминировали представители рода Amaranthus, кодоминантами среди сорняков являются Chenopodium foliosum Aschers. – Amaranthus retroflexus L. + Chenopodium foliosum Aschers, при общем проективном покрытии (ОПП) − 30-40 %.

На агрофитоценозе № 1 (контрольный участок) выявлено 26 видов растений из 9 семейств, на агрофитоценозе № 2 (опытный участок) насчитали 23 вида растений из 8 семейств; так, после обработки гербицидом участка № 2 отмечали уменьшение видового разнообразия до 2 видов сорно-полевой растительности Amaranthus retroflexus L., Chenopodium foliosum Aschers. – и высокую эффективность препарата Аминка Фло. Таким образом, данные виды сорных растений переносят химическое воздействие.

Сорно-полевая растительность исследуемых агрофитоценозов распределялась мозаично. Основными рекомендациями по исследованию сорно-полевой растительности являются систематизация видов, мониторинг и контроль не только на сегетальных местообитаниях, но и на всех типах вторичных местообитаний агроэкосистемы.

Conclusion. Spring surveys of the agricultural phytocenosis on Plot №. 1 (herbicide-free control) identified a total of 26 plant species from 9 families, including representatives of the genus Sonchus, over the observation period. Species of the genus Sonchus were dominant on Plot № 1, with Cirsium setosum (Willd.) Bess – Sonchus arvensis L. + Cirsium setosum (Willd.) Bess the total projective cover was 30-40 %.

During the observation period, 23 plant species belonging to 8 families were identified in agricultural phytocenosis №. 2. The site was dominated by members of the genus Amaranthus, with Chenopodium foliosum Aschers serving as a co-dominant weed species (Amaranthus retroflexus L. + Chenopodium foliosum Aschers), and a total projective cover of 30-40 %.

In agricultural phytocenosis № 1 (the control plot), 26 plant species from 9 families were identified, whereas in agricultural phytocenosis № 2 (the experimental plot), 23 species from 8 families were recorded; following herbicide treatment of plot No. 2, a reduction in species diversity to just two weed species – Amaranthus retroflexus L. and Chenopodium foliosum Aschers – was observed, demonstrating the high efficacy of the preparation Aminka Flo. Thus, these weed species tolerate the chemical treatment.

The weed vegetation within the studied agricultural phytocenosis exhibited a mosaic distribution. Key recommendations for studying weed vegetation include species systematization, monitoring, and control – not only in segetal habitats but also across all types of secondary habitats within the agroecosystem.

Библиографический список

1. Huang T., Ma J., Song S., Ling Z., Macdonald R.W., Gao H., Tao S., Shen H., Liu J., Tian C., Zhao Y., Liu X., Chen K., Mao X. Food shortage driven crop residue burning and health risk. Journal of Cleaner Production. 2024. V. 448. Art. 141645.

2. Cafaro P., Hansson P., Götmark F. Overpopulation is a major cause of biodiversity loss and smaller human populations are necessary to preserve what is left. Biological Conservation. 2022. Art. 272.

3. Hao Z., Zhang X., Pang Y., Lv B., Singh V. P. Spatio-temporal monitoring of compound droughts over global land areas. Environmental Modelling Software. 2025.

4. Wu J., Feng Y., Z.X. Li, Ciais P., Piao S., Chen A., Zeng Z. Earth greening mitigates hot temperature extremes despite the effect dampened by rising CO_2. One Earth. 2024. No 7 (1). V. 19. Pp. 100-109.

5. Wu K., Wang Y., Liu Z., Huo W., Cao J., Zhao G., Zhang F. Prediction of potential invasion of two weeds of the genus *Avena* in Asia under climate. Maxent Science of the Total Environment. 2024. No 950 (10).

6. Lebreton P., Moreau D., Perronne R., Colbach N. Tracking ideal varieties for agroecological weed management in organic wheat. European Journal of Agronomy. 2025. Art. 164.

7. Wang K., Ren Y., Pan X., Wu X., Xu J., Zheng Y. Fengshou Dong Insights on persistent herbicides in cropland soils in northern China: occurrence, ecological risks, and phytotoxicity to subsequent crops. Journal of Hazardous. 2025. No. 490 (15).

8. Tidemann B. D., Geddes C. M., Sharpe S. M. Early adopter insights on physical impact mill technology for harvest weed seed control in Canada. Canadian Journal of Plant Science. 2024. No 104 (5). Pp. 485-494.

9. Бобровский А. В., Козулина Н. С., Василенко А. В. Биологическая эффективность средств защиты растений в посевах ярового рапса. Защита и карантин растений. 2024. Т. 11. С. 17.

10. Харченко В. Е. и др. Особенности распространения Ambrosia Artemisiifolia l. в период засухи. Аграрная наука. 2025. № 9. С. 106-114.

11. Зубкова Т. В. и др. Эффективность применения гербицидов в посевах озимой пшеницы в условиях нечернозёмной зоны. АгроЭкоИнфо. 2025. № 4 (70).

12. Мамеев В. В. и др. Сравнительная эффективность почвенных гербицидов разных химических классов в посевах сои. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 2 (54). С. 41-48.

References

1. Huang T., Ma J., Song S., Ling Z., Macdonald R.W., Gao H., Tao S., Shen H., Liu J., Tian C., Zhao Y., Liu X., Chen K., Mao X. Food shortage driven crop residue burning and health risk. Journal of Cleaner Production. 2024. V. 448. Art. 141645.

2. Cafaro P., Hansson P., Götmark F. Overpopulation is a major cause of biodiversity loss and smaller human populations are necessary to preserve what is left. Biological Conservation. 2022. Art. 272.

3. Hao Z., Zhang X., Pang Y., Lv B., Singh V. P. Spatio-temporal monitoring of compound droughts over global land areas. Environmental Modelling Software. 2025.

4. Wu J., Feng Y., Z.X. Li, Ciais P., Piao S., Chen A., Zeng Z. Earth greening mitigates hot temperature extremes despite the effect dampened by rising CO_2. One Earth. 2024. No 7 (1). V. 19. Pp. 100-109.

5. Wu K., Wang Y., Liu Z., Huo W., Cao J., Zhao G., Zhang F. Prediction of potential invasion of two weeds of the genus *Avena* in Asia under climate. Maxent Science of the Total Environment. 2024. No 950 (10).

6. Lebreton P., Moreau D., Perronne R., Colbach N. Tracking ideal varieties for agroecological weed management in organic wheat. European Journal of Agronomy. 2025. Art. 164.

7. Wang K., Ren Y., Pan X., Wu X., Xu J., Zheng Y. Fengshou Dong Insights on persistent herbicides in cropland soils in northern China: occurrence, ecological risks, and phytotoxicity to subsequent crops. Journal of Hazardous. 2025. No 490 (15).

8. Tidemann B. D., Geddes C. M., Sharpe S. M. Early adopter insights on physical impact mill technology for harvest weed seed control in Canada. Canadian Journal of Plant Science. 2024. No 104 (5). Pp. 485-494.

9. Bobrovsky A. V., Kozulina N. S., Vasilenko A. V. Biological efficiency of plant protection products in spring rape crops. Plant protection and quarantine. 2024. Vol. 11. Pp. 17-10.

10. Kharchenko V. E. et al. Features of the spread of Ambrosia Artemisiifolia l. During drought. Agrarian science. 2025. No 9. Pp. 106-114.
11. Zubkova T. V. et al. Efficiency of herbicide application in winter wheat crops in the non-black soils zone. AgroEcoInfo. 2025. No 4 (70).
12. Mameev V. V. et al. Comparative effectiveness of soil herbicides of different chemical classes in soybean crops. Legumes and cereal crops. 2025. No 2 (54). Pp. 41-48.

Информация об авторах
Васильева Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН) (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), SPIN-код: 1955-4449, Author ID:729015; Scopus: 57200365937; ORCID 0000-0002-5469-3952, e-mail: vtn1972@mail.ru
Author's Information
Vasileva Tatyana Nikolaevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9-Yavarya Str., 29), SPIN code1955-4449, Author ID:729015; Scopus: 57200365937; ORCID 0000-0002-5469-3952, e-mail: vtn1972@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-16

THE NEW SPRING WHEAT VARIETIES GRAIN QUALITY IN DEPENDENCE ON THE AGRICULTURAL PRACTICES

Vlasov V. G.

Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev
Timiryazevsky settlement, Ulyanovsk Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vlasval11@rambler.ru

Received 02.04.2026 Submitted 03.06.2026

Summary
The experiment was carried out to determine the effect of fertilizers and a biological product on the quality indicators of new varieties of spring soft wheat in the forest-steppe zone of the Volga region on leached heavy loamy black soil with a high level of fertility.

Abstract
Introduction. Given the widespread use and potential of the Nikon and Ulyanovskaya 115 spring wheat varieties, determining the optimal method of using chemical fertilizers to achieve high grain quality and productivity levels in the study region is an important scientific and practical task. **The objects** of study were the new varieties of spring soft wheat Nikon and Ulyanovskaya 115, each of which is included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation approved for use in four regions: 4,7,9,10 and 3,5,7,9, respectively. **Materials and methods.** On Nikon, the experiment design included four mineral fertilizer backgrounds for cultivation and seven seed and fertilizer treatment options, while on Ulyanovsk 115, there were two backgrounds and six options. The seeds were sown using a small-sized selective seeder after plowing in a field after winter wheat. Validated methods were used for observations and analyses. **Results and conclusions.** In the first year of the study, the crops had good moisture availability (GTC 1.6). In the second and third years, the plants experienced moisture stress, with GTC values of 0.5 and 0.7, respectively. In the fourth year, the GTC was 1.0. It was found that the application of mineral fertilizers at a dose of $N_{25}P_0K_{10}$ kg/ha before sowing increased the yield of Nikon by 0.67 t/ha, at a dose of $N_{65}P_{20}K_{35}$ by an additional 0.53 t/ha, and at a dose of $N_{75}P_{30}K_{70}$ by an additional 0.55 t/ha. Two nitrogen top dressing (N_{30}) increased the yield by an average of 0.33 t/ha across all backgrounds. Nitrogen fertilization increased the protein content in the grain from 10.4 % in the absolute control to 12.8 % in the 4 fertilizer backgrounds, and the gluten content increased from 20.9 % to 27.2 %, respectively. The average protein yield increased by 109.3 kg/ha for all fertilizer options before sowing. There was also an increase in the weight of 1,000 seeds by 0.6-2.3 g and the grain density by 5-14 units. The grain uniformity on the studied variants practically did not change, the lowest it was on the control. On the best variants, the total Nikon baking assessment reached an average of 4.5 points, the flour strength – 200 e.a. and the volumetric mass of bread from 100 g of flour – 595 cm^3, which confirmed the high efficiency of the double nitrogen fertilization on the studied variety.

Keywords: *spring wheat, spring wheat varieties, quality of spring wheat grain, and spring wheat cultivation technologies.*

Citation. Vlasov V. G. The new spring wheat varieties grain quality in dependence on the agricultural practices. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 148-158 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-16.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 633.11"321":631.559

КАЧЕСТВО ЗЕРНА НОВЫХ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЕМА АГРОТЕХНИКИ

Власов В. Г., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева
п. Тимирязевский, Ульяновская область, Российская Федерация

Работа выполнена сотрудниками отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН в рамках государственного задания Минобрнауки России для СамНЦ РАН по теме № FMRW-2025-0042.

Аннотация. Эксперимент осуществили с целью выявления влияния удобрений и биопрепарата на качественные показатели новых сортов пшеницы мягкой яровой в условиях лесостепи Поволжья на выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе с высоким уровнем плодородия.

Актуальность. Учитывая широкое распространение и перспективность сортов яровой пшеницы «Никон» и «Ульяновская 115», определение оптимального способа использования средств химизации для получения высокого качества зерна и уровня продуктивности изучаемых сортов в регионе проведения исследований является актуальной научной и практической задачей. **Объект.** Объектом изучения являлись новые сорта пшеницы мягкой яровой «Никон» и «Ульяновская 115», каждый из которых включен в государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации, допущенных к использованию по четырем регионам: 4, 7, 9, 10 и 3, 5, 7, 9 соответственно. **Материалы и методы.** На «Никоне» схема опыта предусматривала четыре фона минерального удобрения под культивацию и семь вариантов обработки семян и подкормок, на «Ульяновской 115» – два фона и шесть вариантов. Посев провели малогабаритной селекционной сеялкой по вспашке на участке после озимой пшеницы. Для проведения наблюдений и анализов использовали апробированные методики. **Результаты и выводы.** В первый год исследований отмечена хорошая влагообеспеченность посевов (ГТК 1,6). Два года вегетация растений проходила в условиях дефицита влаги, так как гидротермический коэффициент составил 0,5 и 0,7 соответственно. В четвертый год исследований ГТК был 1,0. Установлено, что внесение минеральных удобрений в дозе $N_{25}P_0K_{10}$ кг/га д.в. до посева привело к повышению урожайности «Никон» на 0,67 т/га, в дозе $N_{65}P_{20}K_{35}$ – дополнительно на 0,53 т/га и в дозе $N_{75}P_{30}K_{70}$ – ещё на 0,55 т/га. Двукратная азотная подкормка (N_{30}) в среднем по всем фонам увеличила её на 0,33 т/га. Азотные подкормки повысили содержание в зерне белка с 10,4 % на абсолютном контроле до 12,8 % на 4 фоне удобрения и клейковины с 20,9 % до 27,2 % соответственно. Выход белка в среднем по всем вариантам удобрения до посева при этом возрос на 109,3 кг/га. Также отмечено увеличение массы 1000 семян на 0,6-2,3 г и натуры зерна – на 5-14 единиц. Выравненность зерна на изучаемых вариантах практически не изменялась, самой низкой она была на контроле. На лучших вариантах общая хлебопекарная оценка «Никона» достигала в среднем 4,5 балла, сила муки – 200 е.а. и объемная масса хлеба из 100 г муки – 595 $см^3$, что подтвердило высокую эффективность двукратной азотной подкормки на изучаемом сорте.

Ключевые слова: *пшеница яровая, сорта пшеницы яровой, качество зерна пшеницы яровой, технологии возделывания пшеницы яровой.*

Цитирование. Власов В. Г. Качество зерна новых сортов яровой пшеницы в зависимости от приема агротехники. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 148-158. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-16.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Яровая пшеница в РФ широко распространена как продовольственная культура. Преимущественно культивируются сорта мягкой пшеницы. В 2025 году посевная площадь этой культуры в России превышала 11,0 млн га, а в Приволжском федеральном округе – 3,3 млн га [1].

Хлебобулочные изделия остаются традиционными и одними из наиболее востребованных продуктов россиян. Пшеничная мука используется также для изготовления обширного перечня кондитерских изделий. Кроме того, экспортируемое зерно представлено пре-

имущественно пшеницей. Поэтому качество сырья для производства муки имеет немаловажное значение. Особенно важным качественным показателем является содержание клейковины и белка. Для выпечки высококачественного хлеба без дополнительных добавок требуется зерно не ниже 3-го класса. Вместе с тем качество заготавливаемой продукции не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к продовольственному зерну, а часть его относится к фуражному [2, 3, 4].

Содержание белка и клейковины в зерне существенным образом зависит от почвенно-климатических условий региона, температурного режима и количества осадков в период вегетации, особенно налива и созревания яровой пшеницы. Низкие температуры и излишние осадки снижают эти показатели [5, 6, 7].

Важную роль в получении высококачественного зерна, безусловно, играет правильный подбор сорта, который способен в условиях региона сформировать наряду с высокой урожайностью и достаточное количество белка и клейковины [8, 9, 10].

Селекционерами института созданы сорта мягкой яровой пшеницы «Никон» и «Ульяновская 115», каждый из которых соответственно с 2022 и с 2025 года, включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации по четырем регионам районирования. Сорта обладают высоким потенциалом продуктивности в сочетании с пластичностью и стабильностью, устойчивостью к полеганию и болезням, способностью к формированию ценного по качеству зерна [11].

По данным многочисленных опытов отмечается, что белковость зерна пшеницы и содержание в нем клейковины возрастают на фоне применения минеральных удобрений. Улучшаются при этом и другие качественные характеристики. Реакция сортов на дополнительное минеральное питание различна [12, 13, 14].

Особенно эффективно для улучшения качества зерна применять азотные листовые подкормки. Положительное влияние замечено также при использовании биопрепаратов и микроудобрений [15, 16, 17].

Учитывая широкий ареал районирования мягкой яровой пшеницы «Никон» и «Ульяновская 115», определение оптимальной схемы применения средств химизации для получения высококачественного зерна сорта в производственных условиях региона актуально.

Цель исследований – изучение влияния удобрений и биопрепарата на показатели качества продукции новых сортов яровой пшеницы в условиях Среднего Поволжья.

Условия, материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили на опытном поле Ульяновского научно-исследовательского института сельского хозяйства, являющегося филиалом Самарского научного центра Российской академии наук, в 2022-2025 гг. Поле расположено в лесостепной зоне Среднего Поволжья и представлено выщелоченным черноземом с высоким уровнем плодородия, что создает благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур.

Объектом исследования стали новые сорта мягкой яровой пшеницы («Никон» и «Ульяновская 115»), которые относятся к виду Triticum aestivum L. Каждый из сортов включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации по четырем регионам, что свидетельствует об их высокой адаптивности и агрономических характеристиках.

Сорт «Никон» был включен в Госреестр с 2022 года по Волго-Вятскому (4), Средневолжскому (7), Уральскому (9) и Западно-Сибирскому (10) регионам. Он является среднеспелым сортом, обладающим превосходными хлебопекарными качествами, а также демонстрирует устойчивость к пыльной и твердой головне. Однако сорт проявляет умеренную восприимчивость к бурой ржавчине и септориозу, что требует дополнительных агротехнических мероприятий для минимизации негативного воздействия этих патогенов.

Сорт «Ульяновская 115» включен в Госреестр по Центральному (3), Центрально-Черноземному (5), Средневолжскому (7), Уральскому (9) регионам с 2025 года. Это среднеспелый сорт, имеющий высокую устойчивость к полеганию и засухоустойчивость. Хлебопекарные качества удовлетворительные. Пшеница – филлер. Сорт устойчив к пыльной и твердой головне.

Исследование было организовано по двухфакторной схеме, что позволило провести комплексный анализ влияния различных факторов на урожайность и качество пшеницы. На сорте «Никон» первый фактор включал четыре варианта применения минеральных удобрений: без удобрений, $N_{25}P_0K_{10}$ (4 т/га), $N_{65}P_{20}K_{35}$ (5 т/га) и $N_{75}P_{30}K_{70}$ (6 т/га). Второй

фактор представлял собой семь вариантов использования биопрепаратов: без подкормки, внесение N_{30} в фазу кущения, внесение N_{30} в фазу налива зерна, комбинированное внесение N_{30} в фазы кущения и налива зерна, добавление микроудобрений, обработка семян биопрепаратом с последующим внесением N_{30} в фазы кущения и налива зерна, а также комплексная обработка семян биопрепаратом с внесением N_{30} и микроудобрений. На сорте «Ульяновская 115» изучали два фона минеральных удобрений, внесенных под культивацию: 1. $N_{30}P_{15}K_{15}$ кг/га д.в.; 2. $N_{60}P_{15}K_{15}$ кг/га д.в. и шесть вариантов обработки семян и подкормки в течение вегетации: 1. Без подкормки; 2. N_{30} (молочная спелость); 3. N_5 и 2 кг/га $MgSO_4$ (кущение) + N_{10} и 4 кг/га $MgSO_4$ (флаговый лист) + N_{15} и 6 кг/га $MgSO_4$ (молочная спелость); 4. Биопрепарат (обработка семян); 5. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} (молочная спелость); 6. Биопрепарат (обработка семян) + N_5 и 2 кг/га $MgSO_4$ (кущение) + N_{10} и 4 кг/га $MgSO_4$ (флаговый лист) + N_{15} и 6 кг/га $MgSO_4$ (молочная спелость).

Каждый вариант опыта был повторён трижды для обеспечения статистической достоверности полученных данных. Делянки располагались систематически, их площадь составляла 33 м².

Погодные условия оказывали значительное влияние на результаты эксперимента. В первый год исследований наблюдали превышение нормы осадков на 55 % (351 мм), что соответствовало гидротермическому коэффициенту (ГТК) 1,6, создавая благоприятные условия для роста и развития пшеницы. Во второй и третий годы проведения опыта вегетационный период характеризовался засушливыми условиями: количество осадков составило 125 мм (55 % от нормы) и 202,1 мм (72 % от нормы), что соответствовало ГТК 0,5 и 0,7 соответственно, что негативно сказалось на урожайности культуры. В четвертый год за май-сентябрь выпало 254,7 мм осадков, при норме 279 мм. Активной температуры накопилось 2623,8 °С, при норме 2500 °С. В период созревания зерна отмечены интенсивные дожди.

Сорта высевали после озимой пшеницы, что в регионе является типичным звеном севооборота. Агротехнические мероприятия включали осеннюю вспашку, внесение минеральных удобрений, боронование, культивацию, посев, прикатывание, борьбу с сорными растениями, защиту от вредителей и болезней, а также уборку урожая. Посев и учет урожая проводились с использованием специализированной селекционной техники, что обеспечило высокую точность и надежность полученных данных.

Семена обрабатывались биопрепаратами в соответствии с рекомендациями производителей. Минеральные удобрения под культивацию и в фазу кущения вносили вручную. В качестве микроудобрения применяли Хелат цинка и Сульфат магния, которые способствовали улучшению минерального питания растений и повышению их устойчивости к стрессовым факторам. Внекорневую азотную подкормку осуществляли водным раствором карбамида. Все листовые подкормки проводили с использованием ранцевого опрыскивателя, что позволило обеспечить равномерное распределение питательных веществ по всей площади посева.

Опытные работы и научные исследования проводили в строгом соответствии с апробированными методическими указаниями, что обеспечило научную обоснованность и достоверность полученных результатов.

Количество минеральных удобрений определяли по методике М.И. Ходько с учетом содержания соломы предыдущих культур. Натура зерна определялась литровой пуркой по ГОСТ 10840-85, масса 1000 зерен – по ГОСТ 10842-89, выравненность – по ГОСТ 10939-64 на лабораторном рассеве У1-ЕРЛ-10-5. Реологические свойства теста («сила» муки) изучали на приборе Альвеоконсистограф. Хлебопекарная оценка проводилась путём лабораторной выпечки хлеба на имеющемся оборудовании. Содержание белка в зерне, количество и качество клейковины определяли на Инфраматик-9200 в аналитической лаборатории института. Обработку данных урожайности проводили с использованием специализированных программ «AGROS» и Microsoft Excel 2007, что позволило провести всесторонний анализ полученных результатов.

Результаты и обсуждение. В среднем за 3 года наибольшее влияние на продуктивность яровой пшеницы сорта «Никон» было зафиксировано при применении минеральных удобрений перед культивацией. На нулевом фоне, то есть при отсутствии удобрений, средняя урожайность данного сорта составила 3,00 т/га. При внесении удобрений на первом фоне урожайность увеличилась на 0,67 т/га (22 %), на втором фоне – на 1,20 т/га (40 %), а на третьем фоне – на 1,75 т/га (58 %).

Варианты обработки семян и последующих подкормок продемонстрировали прибавку урожайности в диапазоне от 0,14 т/га (3,8 %) до 0,35 т/га (9,5 %) в среднем по фонам удобрений. Наибольшая прибавка была достигнута на варианте 4 с двукратной азотной подкормкой. Важно отметить, что максимальные приросты урожайности от подкормок наблюдались на неудобренном фоне, где они варьировали от 0,21 т/га (7,9 %) до 0,62 т/га (23,3 %).

Статистический анализ экспериментальных данных выявил, что влияние фактора А (применение удобрений под культивацию) на урожайность сорта «Никон» достигало от 75 % до 89 %, в то время как влияние фактора В (обработка семян и подкормки) было значительно менее выраженным и составило всего от 1 % до 6 % (таблица 1).

Таблица 1 – Урожайность «Никона» в зависимости от удобрения и биопрепарата, т/га
Table 1 – «Nikon» variety yield depending on fertilizer and biological product, t/ha

Фон минеральных удобрений до посева (фактор А) / Background of mineral fertilizers before sowing (factor A)	Вариант обработки семян и подкормки(фактор В) / Seed treatment and fertilization option (factor B)							
	1	2	3	4	5	6	7	Среднее / Average
0	2,66	3,00	2,87	3,08	3,05	3,05	3,28	3,00
1	3,54	3,70	3,63	3,78	3,70	3,80	3,55	3,67
2	4,12	4,22	4,11	4,35	4,21	4,23	4,17	4,20
3	4,45	4,80	4,72	4,94	4,76	4,84	4,77	4,75
Среднее / Average	3,69	3,93	3,83	4,04	3,93	3,98	3,94	**3,91**
$НСР_{05}$: фактор А / NSR_{05}: factor A	2022 – 0,190; 2023 – 0,059; 2024 – 0,121							
фактор В / factor B	2022 – 0,252; 2023 – 0,078; 2024 – 0,160							
варианты / options	2022 – 0,504; 2023 – 0,157; 2024 – 0,319							
Влияние факторов, % / Factor effect, %	2022 – А-75,2; В-5,9; 2023 – А-89,1; В-0,9; 2024 – А-81,3; В-3,4							

*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ кг/га д.в. до посева; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ кг/га д.в. до посева; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га д.в. до посева.
*Backgrounds: 0 – no fertilizer; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ kg/ha before sowing; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ kg/ha before sowing; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$kg/ha before sowing.

Варианты: 1. Без подкормки; 2. N_{30} (кущение); 3. N_{30} (налив); 4. N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 5. N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив); 6. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 7. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив).

В рамках настоящего исследования было проведено определение влияния изучаемых агротехнических приемов на оптимизацию качественных характеристик зерна яровой пшеницы сорта «Никон». Изучение концентрации протеина и клейковины в зерне исследуемого сорта, культивируемого в различных агротехнических условиях, показало существенные различия. Уровень белка колебался в пределах 10,4-12,8 %, клейковины – 20,9-27,2 %, что свидетельствует о существенном влиянии агроприемов на формирование качественных параметров зерна.

«Никон» продемонстрировал максимальную концентрацию белка и клейковины при двукратной азотной подкормке в фазы кущения и налива. Сравнительный анализ с контрольным вариантом (без подкормок) показал значительное повышение содержания клейковины на 4,6-5,3 % на 0 фоне, 4,1-5,4 % на 1 фоне, 4,4-5,2 % на 2 фоне и 4,6-5,2 % на 3 фоне. Аналогичные изменения наблюдались и в содержании белка, где прирост составил 1,6-2,0 % на 0 фоне, 1,6-2,1 % на 1 фоне, 1,8-2,0 % на 2 фоне и 1,8-2,1 % на 3 фоне соответственно.

Однократная азотная подкормка в период налива также оказала положительное влияние на качественные характеристики зерна, увеличив содержание белка на 1,0-1,7 % и клейковины на 3,3-4,3 %, что подтверждает эффективность данного агроприема.

Статистическая обработка экспериментальных данных позволила оценить вклад различных факторов в формирование качественных характеристик зерна. Влияние фактора А на содержание белка и клейковины составило 4,0-4,8 %, в то время как фактор В, оказал значительно более существенное влияние, достигая 59,1-60,2 % (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние уровней минерального питания на содержание белка и клейковины в зерне мягкой яровой пшеницы «Никон»
Table 2 – Influence of mineral nutrition levels on protein and gluten content in soft spring wheat grain of the «Nikon» variety

Вариант / Option	Белок, % / Protein, %					Клейковина, % / Gluten, %				
	О	1 (4,0 т/га / t/ha)	2 (5,0 т/га / t/ha)	3 (6,0 т/га / t/ha)	Ср. / Average	О	1 (4,0 т/га / t/ha)	2 (5,0 т/га / t/ha)	3 (6,0 т/га / t/ha)	Ср./ Average
1	10,4	10,4	10,6	10,7	10,5	20,9	21,1	21,5	22,0	21,4
2	10,7	10,6	10,8	11,0	10,8	22,1	21,7	22,3	23,3	22,4
3	11,4	11,5	12,1	12,4	11,9	24,1	24,4	25,6	26,3	25,1
4	12,0	12,0	12,4	12,8	12,3	25,5	25,2	26,2	27,1	26,0
5	12,4	12,4	12,2	12,8	12,5	26,2	26,2	25,9	27,2	26,4
6	12,1	12,1	12,2	12,5	12,2	25,6	25,7	25,9	26,6	26,0
7	12,4	12,5	12,6	12,7	12,6	26,2	26,5	26,7	27,0	26,6
Ср. / Average	**11,6**	**11,6**	**11,8**	**12,0**	**11,8**	**24,4**	**24,4**	**24,9**	**25,6**	**24,8**

Влияние факторов, %: A:4,0-4,8; B:59,1-60,2 / Influence of factors, %: A:4.0-4.8; B:59.1-60.2
*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ кг/га д.в. до посева; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ кг/га д.в. до посева; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га д.в. до посева.
*Backgrounds: 0 – no fertilizer; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ kg/ha before sowing; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ kg/ha before sowing; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ kg/ha before sowing.

Варианты: 1. Без подкормки; 2. N_{30} (кущение); 3. N_{30} (налив); 4. N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 5. N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив); 6. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 7. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив).

Анализ полученных данных показал значительное варьирование выхода белка в зависимости от вариантов опыта. В условиях отсутствия удобрений, на контроле сбор протеина был 276,6 кг/га. Доза $N_{25}P_0K_{10}$ повысила его на 91,6 кг/га (33 %), доза $N_{65}P_{20}K_{35}$ кг/га д.в. – на 160,1 кг/га (58 %), а $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га д.в. – на 199,5 кг/га (72 %).

Применение обработки семян и подкормок способствовало существенному приросту выхода белка по сравнению с контрольным вариантом. На неудобренном фоне этот прирост составил от 44,4 кг/га (16,1 %) до 130,1 кг/га (47,0 %). На фоне с удобрением $N_{25}P_0K_{10}$ кг/га увеличение составило от 24,0 кг/га (6,5 %) до 91,6 кг/га (24,8 %). На варианте с дозой $N_{65}P_{20}K_{35}$ кг/га прирост выхода белка варьировал от 19,1 кг/га (4,4 %) до 102,7 кг/га (23,5 %), а при внесении $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га – от 51,9 кг/га (10,9 %) до 156,2 кг/га (32,8 %).

В среднем по всем фонтам удобрений наибольший сбор протеина (498,7 кг/га) был достигнут при применении двойной азотной подкормки. Максимальный выход белка (632,3 кг/га) наблюдали на фоне внесения дозы $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га д.в., что в 2,3 раза превышало показатели контрольного варианта без удобрений и обработок (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние агрохимикатов на выход белка «Никона», кг/га
Table 3 – Effect of agrochemicals on the protein yield of «Nikon» wheat grain, kg/ha

Фон минеральных удобрений до посева (фактор А) / Background of mineral fertilizers before sowing (factor A)	Вариант обработки семян и подкормки (фактор В) / Seed treatment and fertilization option (factor B)							
	1	2	3	4	5	6	7	Среднее/ Average
0	276,6	321,0	327,2	369,6	378,2	369,1	406,7	**349,8**
1	368,2	392,2	417,4	453,6	458,8	459,8	443,7	**427,7**
2	436,7	455,8	497,3	539,4	513,6	516,1	525,4	**497,7**
3	476,1	528,0	585,3	632,3	609,3	605,0	605,8	**577,4**
Среднее / Average	**389,4**	**424,2**	**456,8**	**498,7**	**490,0**	**487,5**	**495,4**	**463,2**
$НСР_{05}$: фактор А / $НСР_{05}$: factor A	2022 – 22,5; 2023 – 7,1; 2024 – 15,7							
фактор В / factor B	2022 – 29,9; 2023 – 9,2; 2024 – 19,3							
варианты / options	2022 – 59,7; 2023 – 18,6; 2024 – 37,8							

*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ кг/га д.в. до посева; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ кг/га д.в. до посева; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га д.в. до посева.
*Backgrounds: 0 – no fertilizer; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ kg/ha before sowing; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ kg/ha before sowing; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ kg/ha before sowing.

Варианты: 1. Без подкормки; 2. N_{30} (кущение); 3. N_{30} (налив); 4. N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 5. N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив); 6. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 7. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив).

Математический анализ показал зависимость (коэффициент Спирмена) выхода белка от урожайности и его содержания в зерне. При этом, на нулевом фоне отмечена сильная связь (R = 0,9 и 0,8 соответственно), 1 и 2 фонах – умеренная (R = 0,6 и 0,3 соответственно). На 3 фоне зависимость сбора белка от урожайности была сильной (R = 0,8) и от его содержания – умеренной (R = 0,7).

Масса 1000 зерен у сорта «Никон» демонстрировала значительные вариации в зависимости от уровня минерального питания. На неудобренном фоне данный показатель составил 38,0 г, тогда как на самом высоком уровне внесения удобрений (3) он достиг 41,6 г. В среднем по всем вариантам внекорневых подкормок масса 1000 зерен на нулевом фоне составила 39,2 г. На первом фоне наблюдали увеличение массы на 0,6 г, на втором – на 1,3 г, а на третьем – на 1,9 г, что свидетельствовало о положительном влиянии минеральных удобрений на данный параметр. Все варианты листовых подкормок также способствовали повышению массы 1000 зерен по сравнению с контрольным вариантом без удобрений на всех фонах минерального питания.

Натура зерна сорта «Никон» по всем исследуемым вариантам существенно превысила базисную норму (750 г/л) и соответствовала показателям его высокого качества. Внекорневые подкормки посевов во время вегетационного периода растений способствовали увеличению данного показателя на 0,6-1,7 %. Это подтверждало положительное влияние подкормок на физические свойства зерна.

Сорт яровой пшеницы Никон сформировал зерно с высокой степенью однородности по крупности. Анализ выравненности зерна (сход с решетками 2,0-2,5 мм) показал, что данный показатель увеличивался с повышением доз минеральных удобрений. Выравненность зерна варьировала в пределах 90,9-95,7 %, при этом минимальный показатель был отмечен на контрольном варианте неудобренного фона, что свидетельствовало о том, что оптимизация минерального питания способствовала улучшению качества зерна, в частности, его выравненности (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние средств химизации на массу 1000 зёрен, натуру и выравненность зерна пшеницы мягкой яровой «Никон»
Table 4 – Influence of chemical agents on the mass of 1,000 grains, the nature, and uniformity of grain of soft spring wheat of the «Nikon» variety

Варианты / Options	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g				Натура, г/л / Nature, g/l				Выравненность, % / Uniformity, %			
	О	1 (4,0 т/га / t/ha)	2 (5,0 т/га / t/ha)	3 (6,0 т/га / t/ha)	О	1 (4,0 т/га / t/ha)	2 (5,0 т/га / t/ha)	3 (6,0 т/га / t/ha)	О	1 (4,0 т/га / t/ha)	2 (5,0 т/га / t/ha)	3 (6,0 т/га / t/ha)
1.	38,0	38,3	39,4	40,2	819	819	822	819	90,9	93,1	94,6	94,7
2.	39,3	40,8	40,5	41,6	828	829	828	829	94,5	94,9	95,0	94,5
3.	38,6	39,1	40,5	41,3	824	824	828	830	94,2	94,5	94,9	94,5
4.	39,2	40,6	41,1	41,5	830	831	832	833	94,7	95,4	95,5	95,7
5.	39,9	39,3	40,1	41,0	830	828	830	829	95,2	94,4	95,3	95,1
6.	40,0	40,6	41,1	41,3	828	829	830	832	94,8	95,2	95,1	95,4
7.	39,3	39,6	40,8	40,8	829	829	830	830	95,4	95,1	95,6	95,5
Ср. / Average	**39,2**	**39,8**	**40,5**	**41,1**	**827**	**827**	**828**	**829**	**94,2**	**94,7**	**95,2**	**95,0**

*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ кг/га д.в. до посева; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ кг/га д.в. до посева; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га д.в. до посева.
*Backgrounds: 0 – no fertilizer; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ kg/ha before sowing; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ kg/ha before sowing; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ kg/ha before sowing.

Варианты: 1. Без подкормки; 2. N_{30} (кущение); 3. N_{30} (налив); 4. N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 5. N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив); 6. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 7. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив).

Установлена прямая умеренная и сильная зависимость массы 1000 семян и урожайности (R = 0,6 – 0,9). Менее выраженной она была на 2 фоне. Математические модели этой связи выглядят следующим образом:

на 0 фоне – y = 0,1997x - 4,8272; R^2 = 0,529;

на 1 фоне – y = 0,0858x + 0,2608; R^2 = 0,6121;

на 2 фоне – y = 0,0839x + 0,8017; R^2 = 0,391;

на 3 фоне – y = 0,2686x - 6,284; R^2 = 0,7319.

Анализ показателей качества муки выявил значительный разброс значений: сила муки варьировала от 140 до 243 единиц, а объемная масса хлеба, выпеченного из 100 граммов муки, изменялась в пределах от 520 до 620 кубических сантиметров. В среднем, по всем исследуемым вариантам, на первом фоне эти показатели возросли на 12 единиц и 10 кубических сантиметров, на втором – на 15 единиц и 12 кубических сантиметров, а на третьем – на 29 единиц и 17 кубических сантиметров. Среди всех вариантов явное преимущество демонстрировали те, в которых применялись листовые подкормки (варианты 3-7).

По объемной массе хлеба мука на всех вариантах соответствовала стандартам высшего сорта, в то время как по силе муки она относилась к средней категории, за исключением варианта 2, в котором была проведена азотная подкормка в период кущения растений (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние средств химизации на хлебопекарные качества «Никона»
Table 5 – Influence of chemical agents on the baking qualities of flour made from «Nikon» wheat grain

Варианты / Options	Сила муки, е.а. / Flour strength, e.a.					Объём хлеба, $см^3$ / Bread volume, cm^3				
	О	1	2	3	Ср.	О	1	2	3	Ср. / Average
1.	164	170	174	178	**172**	530	530	570	570	**550**
2.	140	148	141	154	**146**	520	530	560	540	**538**
3.	169	185	178	184	**179**	590	580	580	570	**580**
4.	164	173	177	187	**175**	580	580	550	570	**570**
5.	166	185	189	202	**186**	560	600	560	560	**570**
6.	168	181	209	243	**200**	560	570	540	590	**565**
7.	170	186	179	194	**182**	560	580	620	620	**595**
Ср. / Average	**163**	**175**	**178**	**192**	**177**	**557**	**567**	**569**	**574**	**567**

*Фоны: 0 – без удобрений; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ кг/га д.в. до посева; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ кг/га д.в. до посева; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га д.в. до посева.
*Backgrounds: 0 – no fertilizer; 1 – $N_{25}P_0K_{10}$ kg/ha before sowing; 2 – $N_{65}P_{20}K_{35}$ kg/ha before sowing; 3 – $N_{75}P_{30}K_{70}$ kg/ha before sowing.

Варианты: 1. Без подкормки; 2. N_{30} (кущение); 3. N_{30} (налив); 4. N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 5. N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив); 6. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} (кущение) + N_{30} (налив); 7. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} и микроудобрение (кущение) + N_{30} и микроудобрение (налив).

Общая хлебопекарная оценка пшеницы мягкой яровой «Никон» варьировала от 3,6 до 4,7 баллов. Минимальный показатель отмечен на варианте с азотной подкормкой (N_{30}) в кущение, максимальный – на варианте 7, где для обработки семян был использован биопрепарат, проведена двукратная подкормка азотом и микроудобрением.

Выявлена прямая умеренная зависимость силы муки и содержания клейковины (R = 0,6), а также – объёма хлеба и силы муки (R = 0,4). Математические модели этих связей выглядят следующим образом:

для силы муки и объёма хлеба – y = 0,0596x + 14,27; R^2 = 0,359;

для объёма хлеба и силы муки – y = 0,3625x - 28,39; R^2 = 0,193.

В 2025 году исследования в данном направлении были продолжены с сортом пшеницы мягкой яровой «Ульяновская 115». Установлено, что содержание белка и клейковины в зерне, полученном в различных вариантах, варьировало от 12,1 % до 13,3 % и от 24,0 % до 26,3 % соответственно. Сорт «Ульяновская 115 «сформировал зерно с наибольшим содержанием белка и клейковины на 2-3 и 5-6 вариантах, где была проведена листовая азотная подкормка растений. По сравнению с вариантом без подкормок содержание клейковины на этих вариантах на 1 фоне увеличилось на 1,5-1,9 % и на 2 фоне – 1,8-2,1 % (таблица 6).

Таблица 6 – Влияние удобрения и биопрепарата на содержание белка и клейковины в зерне пшеницы мягкой яровой «Ульяновская 115» (2025 г.)
Table 6 – Effect of fertilizer and biopreparation on protein and gluten content in spring soft wheat grain of the «Ulyanovskaya 115» variety (2025)

Вариант / Option	Белок, % / Protein, %			Клейковина, % / Gluten, %		
	Фон 1 / Background 1	Фон 2 / Background 2	**Среднее / Average**	Фон 1 / Background 1	Фон 2 / Background 2	**Среднее / Average**
1	12,1	12,2	**12,1**	24,0	24,2	**24,1**
2	13,1	13,2	**13,1**	25,9	26,1	**26,0**
3	13,1	13,1	**13,1**	25,9	26,0	**25,9**
4	12,6	12,3	**12,4**	24,9	24,4	**24,6**
5	12,9	13,2	**13,0**	25,5	26,2	**25,8**
6	12,9	13,3	**13,1**	25,6	26,3	**25,9**
Ср. / Average	**12,8**	**12,9**	**12,8**	**25,3**	**25,5**	**24,4**

*Фоны: 1 – $N_{30}P_{15}K_{15}$ кг/га д.в.; 2 – $N_{60}P_{15}K_{15}$ кг/га д.в.
*Backgrounds: 1 – $N_{30}P_{15}K_{15}$ kg/ha of active ingredients; 2 – $N_{60}P_{15}K_{15}$ kg/ha of active ingredients.

Варианты: 1. Без подкормки; 2. N_{30} (молочная спелость); 3. N_5 и 2 кг/га $MgSO_4$ (кущение) + N_{10} и 4 кг/га $MgSO_4$ (флаговый лист) + N_{15} и 6 кг/га $MgSO_4$ (молочная спелость); 4. Биопрепарат (обработка семян); 5. Биопрепарат (обработка семян) + N_{30} (молочная спелость); 6. Биопрепарат (обработка семян) +N_5 и 2 кг/га $MgSO_4$ (кущение) + N_{10} и 4 кг/га $MgSO_4$ (флаговый лист) + N_{15} и 6 кг/га $MgSO_4$ (молочная спелость).

У «Ульяновской 115» на вариантах с листовыми подкормками отмечено также увеличение массы 1000 зерен с 42,1 до 43,5 г и натуры зерна с 751 до 766 г/л.

Заключение. Яровая пшеница «Никон» показала наибольший прирост урожайности (до 1,75 т/га, что составляет 58 %) благодаря применению минеральных удобрений в дозе $N_{75}P_{30}K_{70}$ кг/га действующего вещества, внесённых под культивацию.

На содержание белка и клейковины, напротив, наиболее значительное влияние оказали подкормки в период вегетации. Самый сильный эффект на всех фонах отмечен на вариантах с двукратной азотной подкормкой, где содержание белка повысилось на 1,6-2,1 % и клейковины – 4,1-5,4 %. Эти же варианты обеспечили и наибольший сбор белка (в среднем 487,5-498,7 кг/га). Лучшие показатели хлебопекарной оценки (сила муки, объемная масса хлеба) отмечены на вариантах с листовыми подкормками азотом и микроудобрением. Следует отметить, что листовая подкормка карбамидом (N_{30} в налив) в среднем по всем фонам увеличивала содержание белка на 1,4 %, а клейковины – на 3,7 %.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют высокую эффективность комплексных агротехнических мероприятий, направленных на повышение качества зерна новых сортов яровой пшеницы, что имеет большое значение для сельскохозяйственного производства и обеспечения продовольственной безопасности.

В условиях региона для повышения качества зерна яровой пшеницы «Никон» рекомендуется проводить азотную подкормку (N_{30}) в кущение аммиачной селитрой разбросным способом и в период налива зерна опрыскиванием раствором мочевины в сочетании с применением микроудобрений, что обеспечивает получение зерна 3 класса.

Для повышения качества зерна сорта «Ульяновская 115» рекомендуется азотная листовая подкормка раствором карбамида (N_{30}) в фазу молочной спелости на фоне использования азотных удобрений под предпосевную культивацию в дозе $N_{30\text{-}60}$, что также обеспечивает получение зерна 3 класса.

Conclusion. Nikon spring wheat showed the highest yield increase (up to 1.75 t/ha, which is 58 %) due to the use of mineral fertilizers at a dose of $N_{75}P_{30}K_{70}$ kg/ha of active ingredient applied under cultivation.

In contrast, the most significant effect on protein and gluten content was observed in the vegetative period. The strongest effect was observed in the variants with two nitrogen applications, where protein content increased by 1.6-2.1 % and gluten content increased by 4.1-5.4 %. These same variants also resulted in the highest protein yield (average of 487.5-498.7 kg/ha). The best indicators of the bakery assessment (flour strength, volumetric mass of bread) were noted on the variants with foliar fertilization with nitrogen and micronutrient fertilizer. It should be noted that foliar fertilization with urea (N_{30} in the filling stage) increased the protein content by 1.4 % and the gluten content by 3.7 % on average across all backgrounds.

Thus, the results of the study demonstrate the high efficiency of complex agrotechnical measures aimed at improving the grain quality of new spring wheat varieties, which is important for agricultural production and ensuring food security.

In the conditions of the region, to improve the quality of spring wheat grain, Nikon recommends applying nitrogen fertilizer (N_{30}) in the tillering stage using ammonium nitrate as a broadcast fertilizer, and during the grain filling stage, applying a urea solution in combination with micronutrient fertilizers, which ensures the production of grain of class 3.

To improve the grain quality of the Ulyanovskaya 115 variety, it is recommended to apply nitrogen foliar fertilization with a urea solution (N30) during the milk ripening phase, while using nitrogen fertilizers for pre-sowing cultivation at a dose of $_{N30-60}$, which also ensures the production of grain of Class 3.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики. Посевные площади Российской Федерации в 2025 году (весеннего учета). http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4cx_2025.xlsx

2. Ильина О. А., Иунихина В. С. Хлебопекарное производство в России: перспективы развития. Хлебопродукты. 2026. № 1. С. 12-18.

3. Ленточкин А. М. Состояние производства и потребления зерна. Пермский аграрный вестник. 2019. № 2 (26). С. 78-87.

4. Мударисов Ф. А., Садыгова М. К. Качество зерна пшеницы, возделываемой в Ульяновской области. Аграрный научный журнал. 2021. № 6. С. 17-20.

5. Келер В. В., Овчинникова Т. Г. Роль экологических условий в формировании клейковины у яровой пшеницы. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 19-27.

6. Роменская С. Е., Таранова Т. Ю., Демина Е. А., Кинчаров А. И. Влияние агрометеорологических условий Средневолжского региона на хлебопекарные свойства яровой мягкой пшеницы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 219-229.

7. Демина Н. Ф. Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 4. С. 433-440.

8. Горянин О. И., Мадякин Е. В. Урожайность и качество зерна новых сортов яровой пшеницы в Поволжье. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 26-32.

9. Таранова Т. Ю., Роменская С. Е., Демина Е. А., Кинчаров А. И. Оценка сортообразцов яровой мягкой пшеницы по показателям качества зерна в изменяющихся условиях Средневолжского региона. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2 (74). С. 25-31.

10. Захаров В. Г., Яковлева О. Д. Сорта яровой мягкой пшеницы селекции Ульяновского НИИСХ для условий Волго-Вятского региона. Пермский аграрный вестник. 2024. № 3 (47). С. 20-28.

11. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию. https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni

12. Денисов К. Е., Гераскина А. А., Никитин А. Н., Кондаков К. С. Оценка эффективности применения минеральных и микробиологических удобрений для повышения качества зерна яровой твердой пшеницы. Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 10-15.

13. Волынкина О. В. Урожайность яровой пшеницы и качество зерна при эффективном применении минеральных удобрений. Агрохимия. 2024. № 8. С. 27-36.

14. Сержанов И. М., Шайхутдинов Ф. Ш., Сержанова А. Р. и др. Влияние элементов технологии на урожайность и качество зерна яровой пшеницы на черноземных почвах Предволжья Республики Татарстан. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3 (67). С. 36-44.

15. Кадыров С. В., Задорожная В. А., Подлесных Н. В., Образцов В. Н. Влияние норм высева и азотных подкормок на качество зерна яровой мягкой пшеницы. Аграрный научный журнал. 2023. № 11. С. 83-87.

16. Беляев В. И., Гребенникова Т. В., Визирская М. М. и др. Эффективность листовых подкормок яровой пшеницы в степной зоне Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 12 (218). С. 10-17.

17. Амиров М. Ф., Сафиуллин А. Я., Гилязов М. Ю. и др. Оценка эффективности предпосевной обработки семян и посевов биологически активными веществами на яровой пшенице в условиях Предкамья Республики Татарстан. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 5-12.

References

1. Federal State Statistics Service. Sown areas of the Russian Federation in 2025 (spring accounting). http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4sx_2025.xlsx

2. Ilyina O. A., Iunikhina V. S. Bakery production in Russia: development prospects. Bread products. 2026. No. 1. Pp. 12-18.

3. Lentochin A. M. The state of grain production and consumption. Perm Agrarian Bulletin. 2019. No. 2 (26). Pp. 78-87.

4. Mudarisov F. A., Sadygova M. K. Quality of wheat grain cultivated in the Ulyanovsk region. Agrarian scientific journal. 2021. No. 6. Pp. 17-20.

5. Keler V. V., Ovchinnikova T. G. The Role of Environmental Conditions in the Formation of Gluten in Spring Wheat. Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. 2021. No. 5. Pp. 19-27.

6. Romenskaya S. E., Taranova T. Yu., Demina E. A., Kincharov A. I. Influence of agrometeorological conditions of the Middle Volga region on the baking properties of spring soft wheat. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 3 (81). Pp. 219-229.

7. Demina N. F. Influence of weather conditions on the yield and quality of spring wheat grain in the forest-steppe of the Middle Volga region. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2022. V. 23. No. 4. Pp. 433-440.
8. Goryanin O. I., Madyakin E. V. Yield and grain quality of new spring wheat varieties in the Volga region. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No 3 (63). Pp. 26-32.
9. Taranova T. Yu., Romenskaya S. E., Demina E. A., Kincharov A. I. Evaluation of spring soft wheat varieties by grain quality indicators in the changing conditions of the Middle Volga region. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2024. V. 19. No 2 (74). Pp. 25-31.
10. Zakharov V. G., Yakovleva O. D. Varieties of Spring Soft Wheat Selected by the Ulyanovsk Research Institute of Agriculture for the Conditions of the Volga-Vyatka Region. Perm Agrarian Bulletin. 2024. No. 3(47). Pp. 20-28.
11. State Register of Varieties and Hybrids of Agricultural Plants Approved for Use. https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni
12. Denisov K. E., Geraskina A. A., Nikitin A. N., Kondakov K. S. Evaluation of the Effectiveness of Using Mineral and Microbiological Fertilizers to Improve the Quality of Spring Triticale Grain. Agrarian Scientific Journal. 2023. No. 5. Pp. 10-15.
13. Volynkina O. V. Yield of spring wheat and grain quality with effective application of mineral fertilizers. Agricultural chemistry. 2024. No. 8. Pp. 27-36.
14. Serzhanov I. M., Shaikhutdinov F. Sh., Serzhanova A. R. et al. Influence of technology elements on the yield and quality of spring wheat grain on the chernozem soils of the Volga region of the Republic of Tatarstan. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2022. V. 17. No. 3 (67). Pp. 36-44.
15. Kadyrov S. V., Zadorozhna V. A., Podlesnykh N. V., Obraztsov V. N. Influence of Seeding Rates and Nitrogen Fertilization on the Quality of Spring Soft Wheat Grain. Agrarian Scientific Journal. 2023. No. 11. Pp. 83-87.
16. Belyaev V. I., Grebennikova T. V., Vizirskaya M. M. et al. The Effectiveness of Leaf Fertilization of Spring Wheat in the Steppe Zone of the Altai Territory. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022. No 12 (218). Pp. 10-17.
17. Amirov M. F., Safiullin A. Ya., Gilyazov M. Yu. et al. Assessment of the Effectiveness of Pre-Sowing Seed and Crop Treatment with Biologically Active Substances on Spring Wheat in the Conditions of the Predkamye Region of the Republic of Tatarstan. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2023. Vol. 18. No 2 (70). Pp. 5-12.

Сведения об авторе
Власов Валерий Геннадьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева (Российская Федерация, Ульяновская область, п. Тимирязевский), e-mai: vlasval11@rambler.ru
Author's Information
Vlasov Valery Gennadievich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev (Russian Federation, Ulyanovsk Region, Timiryazevsky settlement), e-mai: vlasval11@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-17

THE FOREIGN-SELECTION POTATO VARIETIES ADAPTIVE POTENTIAL AND PRODUCTIVITY ASSESSMENT IN THE DRY CONDITIONS OF THE VOLGOGRAD REGION

[1]Gichenkova O. G., [2]Laptina Yu. A., [1]Malikova P. S., [1]Laptin A. Y.

[1]Volgograd state agricultural university
Volgograd, Russian Federation
[2]Federal research Center «Nemchinovka»
Moscow, Russian Federation

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

Received 13.04.2026 Submitted 13.05.2026

Abstract
Introduction. The territory of the Southern Federal District is characterized by high air temperatures, recurrent soil and atmospheric droughts, as well as an increased pathogen load, which significantly complicates potato production. Despite the high yield potential of imported varieties, its realization is often limited by insufficient stability and reduced adaptive potential under abiotic stress conditions. **The aim of the research.** To conduct a comprehensive assessment of a collection of foreign-bred potato varieties based on yield, marketability, and a wide range of parameters of ecological stability, plasticity, and adaptability, followed by a correlation analysis to identify key interrelationships among the studied traits. **Object of the study.** Nine foreign-bred potato varieties were studied: Red Scarlet (St), Vineta, Bellarosa, Red Sonia, Romano (St), Ricarda, Bernina, Otolia, and Karelia. **Materials and methods.** The research was conducted over three growing seasons (2019-2021) under irrigated conditions. A set of parameters characterizing stability (coefficient of variation CV, stability index SI, homeostaticity Hom), stress resistance (S = max-min), and adaptability (adaptability coefficient CA) was used for analysis. For an integrated assessment, each parameter within its group was ranked, and the final position of a variety was determined by the sum of ranks. Correlation analysis was performed by calculating pairwise Pearson correlation coefficients. **Results and conclusions.** The growing seasons differed significantly in productivity levels (HTC from 0.30 in 2020 to 1.4 in 2019), which made it possible to reliably evaluate the varieties. Genotypes with opposite types of

environmental response were identified: highly stable but moderately productive (Red Scarlet) and highly plastic, adaptive (Vineta, Otolia). Correlation analysis revealed strong positive relationships between yield and leaf area (r=0.68), as well as an inverse relationship between net photosynthetic productivity and leaf area (r=-0.71). For practical production in the arid conditions of the Volgograd region, varieties combining high yield, marketability, and adaptability are recommended: Vineta (early-ripening) and Otolia (mid-ripening).

***Keywords*:** *potato farming, potato breeding, potato varieties, potato yield, potato cultivation conditions, potato variety characteristics.*

Citation. Gichenkova O. G., Laptina Yu. A., Malikova P. S., Laptin A. Y. The foreign-selection potato varieties adaptive potential and productivity assessment in the dry conditions of the Volgograd region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 158-169 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-17.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' contribution. All authors listed in this article were directly involved in conducting research and processing the obtained data. All authors are familiar with the final version presented and have approved it.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 635.21:631.527(470.45)

ОЦЕНКА АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПРОДУКТИВНОСТИ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ ИНОСТРАННОЙ СЕЛЕКЦИИ В ОСТРОЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Гиченкова О. Г., *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*
[2]Лаптина Ю. А., *доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[1]Маликова П. С., *аспирант*
[1]Лаптин А. Ю., *аспирант*

[1] ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Для территории Южного федерального округа характерны высокие температуры воздуха, регулярные почвенные и воздушные засухи, а также повышенная патогенная нагрузка, что значительно осложняет производство картофеля. Несмотря на высокий продукционный потенциал импортных сортов, его реализация часто ограничивается недостаточной стабильностью и сниженным адаптивным потенциалом в условиях абиотических стрессов. **Цель исследований.** Проведение комплексной оценки коллекции сортов картофеля иностранной селекции по урожайности, товарности и широкому спектру параметров экологической стабильности, пластичности и адаптивности с последующим корреляционным анализом для выявления ключевых взаимосвязей между изучаемыми признаками. **Объект исследования.** Девять сортов картофеля иностранной селекции: Ред Скарлетт, Винета, Белларoза, Ред Соня, Романо, Рикарда, Бернина, Отолия, Карелия. **Материалы и методы.** Исследования проводились в течение трех вегетационных сезонов на орошаемом фоне. Для анализа использован набор параметров, характеризующих стабильность (коэффициент вариации CV, индекс стабильности ИС, гомеостатичность Hom), стрессоустойчивость и адаптивность. Для интегральной оценки каждый параметр ранжировался, итоговое место сорта определялось по сумме рангов. Корреляционный анализ проводился путем расчета парных коэффициентов корреляции Пирсона. **Результаты и выводы.** Условия вегетационных периодов существенно различались по уровню продуктивности, что позволило достоверно оценить сорта. Выявлены генотипы с противоположным типом реакции: высокостабильный, но умеренно продуктивный (Ред Скарлетт) и высокопластичный, адаптивный (Винета, Отолия). Корреляционный анализ выявил сильные положительные связи между урожайностью и площадью листовой поверхности (r = 0,68), а также обратную связь между чистотой продуктивности фотосинтеза и площадью листьев (r = -0,71). Для практического производства в острозасушливых условиях Волгоградской области рекомендованы сорта, сочетающие высокую урожайность, товарность и адаптивность, Винета (раннеспелый) и Отолия (среднеспелый).

Ключевые слова: *картофелеводство, селекция картофеля, сорта картофеля, урожайность картофеля, условия возделывания картофеля, характеристики сортов картофеля.*

Цитирование. Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А., Маликова П. С., Лаптин А. Ю. Оценка адаптивного потенциала и продуктивности сортов картофеля иностранной селекции в острозасушливых условиях Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 158-169. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-17.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. Все авторы, указанные в настоящей статье, принимали непосредственное участие в проведении исследований и обработке полученных данных. Все авторы ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Выращивание картофеля на территории Южного федерального округа значительно осложняется комплексом абиотических и биотических факторов, включая высокие температуры воздуха, регулярные воздушные и почвенные засухи в период вегетации, а также повышенный инфекционный фон. Как отмечают Т. В. Боева с соавторами [1], совокупное действие этих факторов провоцирует активное развитие вирусных, грибковых и фитоплазменных инфекций, что приводит к существенному недобору урожая.

Согласно данным проекта ADAPT (Accelerated Development of multiple-stress tolerAnt PoTato), финансируемого Европейским союзом, засуха и тепловой стресс уже признаны основными лимитирующими факторами производства картофеля в Европе. Полевые испытания в рамках этого проекта, проведенные в Испании и Нидерландах, подтвердили, что даже коммерческие сорта, стабильные в обычных условиях, демонстрируют значительное снижение урожайности при комплексном воздействии высоких температур и дефицита влаги [2].

В последние десятилетия в производстве широко используются сорта зарубежной, преимущественно голландской и немецкой селекции. Их привлекательность обусловлена способностью формировать выровненный, обладающий высокими товарными качествами урожай, эффективно реагировать на орошение и удобрения. Однако, как показывает практика, даже высокопродуктивные импортные сорта не всегда стабильно реализуют свой потенциал в контрастных погодных условиях разных регионов. В связи с этим особую значимость приобретает их агроэкологическое испытание в конкретных почвенно-климатических условиях. Как справедливо отмечает Е. А. Симаков [3], сорт является самостоятельным фактором повышения урожайности, и для его эффективной реализации необходима полная информация о его биологических особенностях, продуктивности и адаптивности в местных условиях возделывания [4, 5].

Многолетние научные исследования в Орловском ГАУ показали, что отечественные и зарубежные сорта картофеля проявляют различную адаптивность к условиям возделывания, обеспечивая, соответственно, различный уровень урожайности [6].

Сорта, официально допущенные к использованию в Нижневолжском регионе, зачастую не в полной мере отвечают требованиям адаптивности к местным условиям. В этой связи особую значимость приобретает поиск и внедрение новых генотипов, которые сочетали бы в себе не только высокую продуктивность, но и устойчивость к комплексу фитопатогенов, способность к быстрому наращиванию клубневой массы, а также высокие потребительские свойства.

При подборе сорта ключевое значение отводится его потенциальной продуктивности. Для многих современных сортов этот показатель находится в диапазоне 50-60 т/га. Однако, как свидетельствуют данные государственного сортоиспытания, в российских условиях реализация этого потенциала не превышает 20-30 %, а средняя урожайность в товарных хозяйствах остается на уровне 14-15 т/га [7]. Для сравнения, в Нидерландах, где широко применяется сертифицированный семенной материал, эффективность использования сортового потенциала достигает 70-80 %, что позволяет получать стабильные урожаи на уровне 40-45 т/га.

Для оценки потенциала сорта важен анализ не только урожайности, но и фотосинтетической деятельности посевов. При оптимальных условиях растения картофеля способны накапливать большое количество сухого вещества, что напрямую влияет на качество клубней. Однако высокие температуры снижают фотосинтетическую активность, что приводит к уменьшению размера и качества клубней. По данным П. А. Андросова и соавторов [8], чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) у раннего картофеля в аридных условиях Северного Прикаспия составляет 2,0-3,0 г/м²·сут, что может служить критерием для отбора адаптированных генотипов.

В условиях Обь-Иртышского Севера значения ЧПФ картофеля, по данным В. А. Чумака [9], существенно отличаются от полученных в аридном климате, что подтверждает значительное влияние почвенно-климатических условий на фотосинтетическую активность. Для сравнения, в оптимизированных условиях контролируемой среды NASA чистая продуктивность фотосинтеза картофеля достигает 7-10 г/м²·сут [10], что в 3-4 раза выше полученных значений и объясняется стрессовыми условиями острозасушливого региона.

Еще одним важным критерием выбора сорта является срок его созревания. Чтобы иметь подстраховку в случае неблагоприятных условий в разные периоды лета и эффективно использовать осадки, выпадающие в летние месяцы, необходимо выращивать 3-4 сорта картофеля с разными биологическими особенностями. Как показывают исследования в Самарской области, в условиях высокой стрессовой нагрузки (повышенный температурный режим, почвенная засуха, вирусные заболевания) среднеранние и среднеспелые сорта имеют преимущество по урожайности и крахмалистости, формируя в среднем 1012 и 865 г/куст соответственно, в то время как продуктивность среднепоздних сортов не превышает 476 г/куст [11].

Возделывание раннеспелых и среднеранних сортов картофеля позволяет растягивать уборку, а продолжительный срок уборки – меньше привлекать дополнительной рабочей силы, сокращать потери урожая, снижать сезонность использования трудовых ресурсов и повышать производительность труда, а также рациональнее использовать технику. Однако важно учитывать, что в субаридной зоне реализация потенциала даже ранних сортов невозможна без оптимизации водного режима. Исследования подтверждают, что урожайность клубней находится в прямой линейной зависимости от суммарного водопотребления (R^2 = 0,988-0,998), а оросительная вода в структуре водопотребления составляет 72-76 % [12].

Зарубежные семеноводческие компании обеспечивают высокие репродукции с отличными фитосанитарными показателями, что гарантирует стабильный результат. Однако интенсивное использование ограниченного набора популярных иностранных сортов на больших площадях приводит к тому, что патогены (грибки, бактерии, вирусы) быстро приспосабливаются и преодолевают их устойчивость. Сорт, который показывал отличные результаты 5-7 лет, может резко потерять урожайность. Также иностранные сорта не всегда приспособлены к специфическим почвенно-климатическим условиям ЮФО (к засолению некоторых почв, суховеям, резким перепадам температур).

Внедрение сортов, прошедших успешные сортоиспытания, способствует повышению эффективности сельскохозяйственного производства и снижению рисков, связанных с неблагоприятными погодными условиями. Таким образом, комплексная эколого-географическая оценка сортов иностранной селекции, включающая анализ биометрических показателей, площади листовой поверхности, ЧПФ, урожайности, товарности и биохимических параметров клубней, является необходимым условием для обоснованной сортосмены в острозасушливых условиях Волгоградской области.

Материалы и методы. Проведение полевых опытов и обработка результатов исследований проводились по общепринятым методикам в условиях орошения.

В исследовании были изучены девять сортов картофеля зарубежной селекции, различающихся по срокам созревания и происхождению. Среди раннеспелых сортов изучались: Ред Скарлетт (HZPC HOLLAND B.V., Голландия); Винета (EUROPLANT, Германия); Беллароза (EUROPLANT, Германия); Ред Соня (EUROPLANT, Германия). В группе среднеранних сортов изучались: Романо (AGRICO U.A., Голландия); Карелия (EUROPLANT, Германия). Группа среднеспелых сортов была представлена: Рикарда (EUROPLANT, Германия); Бернина (EUROPLANT, Германия); Отолия (EUROPLANT, Германия).

Исследования проводились на агротехнологическом полигоне УНПЦ «Горная Поляна» Волгоградского ГАУ с использованием общепринятых методик полевого опыта в условиях орошения [13]. Технология возделывания включала следующие основные элементы. Осенью после лущения стерни проводили планировку поля и вспашку на глубину 27-30 см с внесением нитроаммофоски (750 кг/га). Весной, при наступлении физической спелости почвы, выполняли боронование и культивацию на глубину 10-12 см. Посадку осуществляли в апреле на глубину 6-10 см с густотой стояния 40-60 тыс. растений/га. В мае формировали гребни, укладывали капельные ленты и вносили гербициды. Полив проводили при поддержании влажности почвы на уровне 80 % НВ с дифференциацией глубины промачивания (0,4 м до фазы бутонизации и 0,6 м до конца вегетации). В течение вегетации по мере появления вредителей и болезней осуществляли обработки инсектицидами и фунгицидами. За 10-12 дней до уборки скашивали ботву на высоте 8-10 см. Уборку урожая проводили в августе-сентябре с последующей сортировкой клубней.

Фенологические наблюдения, определение густоты стояния растений после всходов и перед уборкой, высоты растений картофеля по фенологическим фазам роста и развития и другие сопутствующие наблюдения проводили в соответствии с общепринятой методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. На посадках картофеля отмечали появление всходов, бутонизацию, начало и завершение цветения, клубнеобразование и усыхание ботвы – технологическую спелость клубней.

Наблюдения за динамикой нарастания клубней и надземной массы проводили по методике ВНИИ картофельного хозяйства.

Для оценки фотосинтетического потенциала использовали общепринятые методики. Площадь листовой поверхности определяли методом высечек. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) рассчитывали, исходя из показателя листовой поверхности на единицу площади.

Учет урожая осуществляли весовым методом с учетных делянок по сортам. Для определения структуры и товарности урожая проводили пробную предуборочную копку. Определяли массу клубней, выход клубней по фракциям (мелкие (< 60 г), средние (≥ 60 г), крупные (≥ 100 г)) по 10 растениям с каждой делянки.

Были рассчитаны следующие показатели: гомеостатичность (Hom) по Хангильдину, коэффициент вариации (CV) по Доспехову [13], индекс стабильности (ИС) по Удачину, устойчивость к стрессу по Гончаренко, коэффициент адаптивности (КА) по Животкову.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ Statistica. Достоверность различий оценивали по критерию Фишера (F). Корреляционный анализ выполняли с расчётом коэффициента Пирсона (r), различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$, высокодостоверными – при $p \leq 0,01$.

Результаты и обсуждения. Анализ погодных условий за годы исследований (2019-2021 гг.) выявил их существенную контрастность, что позволило объективно оценить адаптационный потенциал изучаемых сортов картофеля в условиях острозасушливого региона. Среднемноголетние показатели характеризуют территорию как зону с неустойчивым увлажнением и высокой теплообеспеченностью.

Таблица 1 – Метеорологические условия в период вегетации картофеля (апрель-сентябрь) в годы исследований
Table 1 – Meteorological conditions during the potato vegetation period (April-September) over the research years

Год / Year	Сумма температур / Temperature sum, °C	Обеспеченность / Supply, %	Осадки / Precipitation, мм	Обеспеченность / Supply, %	ГТК / HTC
2019	2529	77	371,0	260	1,4
2020	3384	102	100,8	71	0,30
2021	3561	108	143,3	101	0,40
Среднемноголетнее / Long-term average	3305	100	142,5	100	0,43

Наиболее благоприятный гидротермический режим сложился в 2019 году, когда сумма осадков достигла 371,0 мм, что составило 260 % от нормы, а ГТК составил 1,4. Такие условия способствовали активному нарастанию вегетативной массы и формированию высокого потенциального урожая, что подтверждается максимальными показателями высоты растений и площади листовой поверхности у большинства сортов в этот период.

Засушливостью характеризовался 2020 год, осадков выпало всего 71 % от среднего при высокой сумме температур, что обусловило ГТК на уровне 0,30. Данные условия стали показательными для сортов, выявив их устойчивость к воздушной засухе и способность формировать урожай в условиях дефицита влаги. Именно в этот год наблюдалась наибольшая дифференциация сортов по продуктивности.

2021 год отличался высокой теплообеспеченностью при количестве осадков, близком к среднемноголетнему, что обеспечило значение ГТК = 0,40.

Таблица 2 – Показатели биометрических наблюдений развития сортов картофеля иностранной селекции (в среднем за 2019-2021гг)
Table 2 – Indicators of biometric observations of foreign-bred potato varieties (average for 2019-2021)

Сорт / Variety	Высота, м / Plant height, m	CV, %	Кол-во стеблей, шт./раст. / Number of stems, pcs/plant	CV, %	Кол-во листьев, шт./раст. / Number of leaves, pcs/plant	CV, %
Раннеспелая группа / Early-ripening group						
Ред Скарлетт / Red Scarlet St	0,68	2,2	4,6	11,8	24,7	5,9
Винета / Vineta	0,80	5,9	4,0	0,0	23,0	4,2
Беллароза / Bellarosa	0,76	11,2	3,7	15,6	22,8	1,1
Ред Соня / Red Sonia	0,68	16,9	3,3	17,5	18,6	1,9
Среднеспелые, (среднеранние) / Mid-ripening (mid-early) group						
Романо / Romano St	0,79	9,5	3,0	0,0	22,3	2,4
Рикарда / Ricarda	0,80	9,9	3,0	0,0	22,4	2,9
Бернина / Bernina	0,83	19,7	3,0	0,0	22,2	2,7
Отолия / Otolia	0,75	10,4	4,0	0,0	22,8	4,0
Карелия / Karelia	0,92	16,1	4,7	11,8	26,4	3,2

Анализ данных таблицы 2 показал существенные различия по высоте растений, так в группе раннеспелых сортов максимальной средней высотой характеризовался сорт Винета – 0,80 м, тогда как минимальные значения отмечены у сортов Ред Скарлетт и Ред Соня. Среди среднеранних и среднеспелых сортов лидером по высоте стала Карелия, превысившая показатели остальных сортов этой группы на 11-23 %.

Важной характеристикой является стабильность проявления признака по годам. Наиболее низкой изменчивостью отличались сорта Винета (CV = 5,9 %) и Ред Скарлетт (CV = 2,2 %), что свидетельствует об их высокой адаптивной способности к контрастным погодным условиям. Напротив, сорта Ред Соня и Бернина продемонстрировали высокую нестабильность высоты.

Количество стеблей оказалось наиболее стабильным биометрическим показателем, так у 7 из 9 изучаемых сортов этот признак оставался неизменным либо варьировал в пределах одного стебля по годам исследований. Максимальное количество стеблей отмечено у сортов Карелия и Ред Скарлетт. Как показал корреляционный анализ, высокое стеблеобразование не всегда коррелирует с высокой продуктивностью. Коэффициент корреляции между количеством стеблей и урожайностью составил $r = -0,45$ ($p < 0,05$).

В среднем за три года наибольшая облиственность отмечена у сорта Карелия – 26,4 шт./раст, что на 7-10 % превышает показатели других сортов. Минимальная облиственность зафиксирована у сорта Ред Соня – 18,6 шт./раст, что на 25-30 % ниже, чем у остальных сортов раннеспелой группы.

Таблица 3 – Площадь листовой поверхности у сортов картофеля (конец цветения), тыс. м^2/га
Table 3 – Leaf area of potato varieties (end of flowering), thousand m²/ha

Сорт / Variety	Год / Year				CV, %
	2019	2020	2021	Среднее / Average	
Раннеспелая группа / Early-ripening group					
Ред Скарлетт / Red Scarlet St	25,8	24,3	25,1	25,1	3,0
Винета / Vineta	41,3	36,7	36,4	38,1	7,2
Беллароза / Bellarosa	48,1	48,0	47,8	48,0	0,3
Ред Соня / Red Sonia	22,8	20,9	21,3	21,7	4,5
Среднеспелые, (среднеранние) / Mid-ripening (mid-early) group					
Романо / Romano St	48,2	46,5	45,8	46,8	2,6
Рикарда / Ricarda	56,2	54,8	52,9	54,6	3,0
Бернина / Bernina	39,9	39,0	38,2	39,7	2,1
Отолия / Otolia	59,5	63,1	62,9	62,1	2,9
Карелия / Karelia	70,2	68,1	65,7	68,0	3,3

Анализ развития площади листовой поверхности (таблица 3) выявил значительный размах варьирования между сортами – от 21,7 тыс. м²/га у сорта Ред Соня до 68,0 тыс. м²/га у сорта Карелия, при этом установлена высокая стабильность показателя площади листовой поверхности у всех исследуемых сортов, коэффициенты вариации варьировали от 0,3 % у сорта Белларoза до 7,2 % у сорта Винета, что свидетельствует о генетически обусловленной способности формировать листовой аппарат независимо от колебаний погодных условий.

Наиболее высокие значения ЧПФ (таблица 4) у большинства сортов отмечены в 2020 году, так у сорта Ред Скарлетт ЧПФ достигла 2,93 г/м²·сут., что на 10 % выше среднего значения по этому сорту. У сорта Винета, Белларoза и Ред Соня прибавка составила соответственно – 8 %, 11 % и 9 %. По сортам среднеспелой группы также отмечалась прибавка 8-16 %. Исключение составил сорт Рикарда, у которого ЧПФ в 2020 году незначительно превысила показатель 2019 года, а также сорт Карелия, у которого ЧПФ в 2020 году оставалась крайне низкой.

Вероятно, это связано с тем, что в условиях умеренного стресса активизируются адаптивные механизмы растений, увеличивается концентрация клеточного сока, повышается активность ферментов фотосинтеза, оптимизируется работа устьичного аппарата. В результате возрастает эффективность использования имеющейся влаги, и чистая продуктивность фотосинтеза повышается даже при снижении абсолютных значений площади листовой поверхности.

Таблица 4 – Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) сортов картофеля, г/м²
Table 4 – Net photosynthetic productivity (NPP) of potato varieties, g/m²

Сорт / Variety	Год / Year				CV, %
	2019	2020	2021	Среднее / Average	
Раннеспелая группа / Early-ripening group					
Ред Скарлетт / Red Scarlet St	2,57	2,93	2,64	2,71	6,9
Винета / Vineta	2,67	2,92	2,55	2,71	6,9
Белларoза / Bellarosa	1,67	1,91	1,58	1,72	10,2
Ред Соня / Red Sonia	2,23	2,37	1,95	2,18	9,9
Среднеспелые, (среднеранние) / Mid-ripening (mid-early) group					
Романо / Romano St	1,11	1,40	1,12	1,21	13,3
Рикарда / Ricarda	1,06	1,08	1,01	1,05	3,5
Бернина / Bernina	1,60	1,72	1,33	1,55	12,2
Отолия / Otolia	1,35	1,45	1,22	1,34	8,7
Карелия / Karelia	0,73	0,82	0,63	0,73	13,1

У большинства сортов отмечено снижение ЧПФ в 2021 году по сравнению с 2020 годом. Наиболее значительное падение на 23 % наблюдалось у сорта Бернина, также существенное снижение зафиксировано у сортов Ред Соня – 18 %, Романо – 20 %, Белларoза – 17 %, Отолия – 16 % и Карелия – 23 %. Это связано с сочетанием высоких температур и недостаточного увлажнения, что привело к угнетению фотосинтетической активности.

Как отмечает Н. Н. Щербакова, снижение густоты посадки и уровня питания картофеля в условиях Нижнего Поволжья может приводить к увеличению чистой продуктивности фотосинтеза, что согласуется с нашими данными по сорту Ред Соня, показавшему относительно высокую ЧПФ при минимальной площади листовой поверхности.

Наименьшее снижение ЧПФ в 2021 году отмечено у сортов Винета – 13 % и Ред Скарлетт – 10 %, что подтверждает их высокую устойчивость к комплексу стрессовых факторов. Сорт Рикарда продемонстрировал уникальную стабильность: снижение ЧПФ в 2021 г. составило всего 6 % от уровня 2020 года.

Коэффициент вариации позволяет оценить стабильность показателя ЧПФ по годам, чем он ниже, тем менее чувствителен сорт к колебаниям погодных условий.

К высокостабильным сортам, с коэффициентом вариации менее 10 % относятся сорта Рикарда, Ред Скарлетт, Винета, Отолия и Ред Соня. Сорт Рикарда демонстрирует высокую стабильность ЧПФ (CV = 3,5 %), что указывает на генетическую детерминацию фотосинтетической активности данного сорта и его высокую устойчивость к абиотическим стрессам. Сорта Ред Скарлетт и Винета, характеризуются наибольшими значениями ЧПФ и высокой стабильностью, что подтверждает их надёжность в контрастных погодных условиях.

Сорта Белларoза, Бернина, Карелия и Романо характеризуются заметными колебаниями ЧПФ по годам, что указывает на их повышенную чувствительность к погодным условиям. Особого внимания заслуживает сорт Карелия, который при низких значениях ЧПФ демонстрирует высокую вариабельность, что свидетельствует о крайне низкой адаптивной способности.

Анализ продуктивности (таблица 5) сортов в раннеспелой группе показал, что максимальную среднюю урожайность за три года исследований сформировал сорт Винета – 40,4 т/га, что на 47 % превышает стандартный сорт Ред Скарлетт. Сорт Белларoза также превысил стандарт, сформировав 30,8 т/га, что на 12 % выше контроля. Наименьшую урожайность в этой группе сформировал сорт Ред Соня, уступив стандарту 7,5 т/га.

В группе среднеранних и среднеспелых сортов наибольшую продуктивность сформировал сорт Отолия – 35,2 т/га, что превысило стандартный сорт Романо на 7,6 т/га или 28 %. Сорта Рикарда, Бернина и Карелия показали результаты ниже стандарта, при этом наименьшую урожайность в этой группе сформировал сорт Карелия.

Таблица 5 – Урожайность сортов картофеля, т/га
Table 5 – Potato yield, t/ha

Сорт / Variety	Год / Year			Среднее / Average	CV, %
	2019	2020	2021		
Раннеспелая группа / Early-ripening group					
Ред Скарлетт / Red Scarlet St	26,8	28,7	26,7	27,4	3,8
Винета / Vineta	43,1	41,9	36,3	40,4	8,2
Белларoза/ Bellarosa	30,0	34,3	28,2	30,8	9,5
Ред Соня / Red Sonia	21,4	20,9	17,5	19,9	9,6
Среднеспелые, (среднеранние) / Mid-ripening (mid-early) group					
Романо / Romano St	26,0	31,8	25,1	27,6	11,7
Рикарда / Ricarda	27,1	27,0	24,5	26,2	5,7
Бернина / Bernina	28,5	29,9	22,7	27,0	12,7
Отолия / Otolia	34,1	38,9	32,6	35,2	8,5
Карелия / Karelia	24,3	26,7	19,7	23,6	14,1
$НСР_{05,}$ т/га	3,5	3,4	3,1		

Наиболее стабильной урожайностью, с коэффициентом вариации менее 5 % характеризуется стандартный сорт Ред Скарлетт, что подтверждает его надёжность в условиях региона. Также высокую стабильность проявили сорта Винета, Белларoза, Ред Соня и Отолия.

Важно отметить, что снижение урожайности в засушливом 2021 г. наблюдалось у всех сортов, однако степень снижения существенно различалась. Наибольшее падение урожайности относительно среднемноголетних значений отмечено у сорта Бернина (на 24 % меньше среднего значения), наименьшее – у Ред Скарлетт – 2 %. Сорт Винета, несмотря на снижение урожайности в 2021 г. до 36,3 т/га, сохранил лидирующие позиции, что подтверждает его высокую адаптивность.

Статистическая обработка результатов установила достоверные различия по урожайности между изучаемыми сортами. Сорт Винета достоверно превышал все остальные сорта, включая стандартный сорт Ред Скарлетт. Сорт Отолия также достоверно превосходил стандарт и большинство других генотипов, уступая только сорту Винета. Сорта Белларoза, Романо, Бернина, Рикарда и Ред Скарлетт сформировали статистически однородную группу, достоверных различий между ними не выявлено. Наименьшую урожайность показали сорта Карелия и Ред Соня, которые достоверно уступают стандарту и большинству остальных генотипов.

Товарность является ключевым экономическим показателем, определяющим рентабельность производства. Анализ данных таблицы 6 показал, что максимальную товарность в раннеспелой группе обеспечил сорт Винета, минимальную – Ред Соня. В группе среднеранних и среднеспелых сортов лидером по товарности стала Отолия.

В ходе анализа отмечена закономерность, что сорта, формирующие высокую урожайность (Винета, Отолия), характеризуются и высокой товарностью. Напротив, низкоурожайные сорта (Ред Соня, Карелия) имеют низкие показатели товарности. Коэффициент корреляции между урожайностью и товарностью составил $r = 0,73$ ($p < 0,01$), что подтверждает тесную взаимосвязь этих показателей.

Таблица 6 – Товарность сортов картофеля, %
Table 6 – Marketability of potato varieties, %

Сорт / Variety	Год / Year			Среднее / Average
	2019	2020	2021	
Раннеспелая группа / Early-ripening group				
Ред Скарлетт / Red Scarlet St	79,9	86,2	82,3	82,8
Винета / Vineta	98,0	92,9	91,1	94,0
Беллароза/ Bellarosa	86,8	92,8	87,8	89,1
Ред Соня / Red Sonia	70,7	72,4	70,4	71,2
Среднеспелые, (среднеранние) / Mid-ripening (mid-early) group				
Романо / Romano St	80,2	85,1	78,1	81,1
Рикарда / Ricarda	77,5	77,2	71,1	75,3
Бернина / Bernina	89,9	85,7	94,3	90,0
Отолия / Otolia	92,0	96,4	94,7	94,4
Карелия / Karelia	63,4	74,7	65,4	67,8

По годам исследований прослеживается неоднозначная динамика товарности. У большинства сортов максимальная товарность зафиксирована в 2020 году, что может быть связано с меньшим развитием грибных заболеваний в условиях низкой влажности. Исключение составил сорт Бернина, у которого товарность в 2021 г. достигла максимального значения – 94,3 %, а также сорт Отолия, сохранивший высокую товарность во все годы исследований.

Таблица 7 – Показатели адаптивности сортов картофеля
Table 7 – Adaptability indicators of potato varieties

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	CV, %	ИС / SI	(Y min – Y max), т/га	Hom	КА / CA	Ранг / Rank
Винета / Vineta	40,4	8,2	0,84	- 6,8	68,9	1,41	1
Отолия / Otolia	35,2	8,5	0,84	- 6,3	54,4	1,23	2
Ред Скарлетт / Red Scarlet St	27,4	3,8	0,93	- 2,0	514	0,95	3
Беллароза/ Bellarosa	30,8	9,5	0,82	- 6,1	49,0	1,07	4
Рикарда / Ricarda	26,2	5,7	0,90	- 2,6	154	0,91	5
Романо / Romano St	27,6	11,7	0,79	- 6,7	28,1	0,96	6
Бернина / Bernina	27,0	12,7	0,76	- 7,2	18,5	0,94	7
Карелия / Karelia	23,6	14,1	0,74	- 7,0	18,0	0,82	8
Ред Соня / Red Sonia	19,9	9,6	0,82	- 3,9	45,1	0,69	9

Примечание: CV – коэффициент вариации; ИС – индекс стабильности; Hom – гомеостатичность по В. В. Хангильдину. КА – коэффициент адаптивности по Животкову, (Y min – Y max) – устойчивость к стрессу по А. А. Гончаренко.
Comment: CV – coefficient of variation; SI – stability index; Hom – is homeostaticity according to V. V. Hangildin; CA – adaptability coefficient according to Zhivotkov, (Y min – Y max) – stress resistance according to A. A. Goncharenko.

Анализ данных таблицы 7 позволяет ранжировать сорта по уровню адаптивности к острозасушливым условиям Волгоградской области.

По результатам ранжирования наиболее адаптированным был раннеспелый сорт Винета, который сформировал максимальную среднюю урожайность – 40,4 т/га, превысив общий средний уровень выборки в 1,41 раза (КА = 1,41). Сорт характеризуется высокой стабильностью CV = 8,2 % и гомеостатичностью – 68,9, что подтверждает его надёжность в контрастных погодных условиях. Также хорошие показатели адаптивности отмечены у среднеспелого сорта Отолия.

Таблица 8 – Корреляционные связи между биометрическими, физиологическими и продукционными показателями сортов картофеля иностранной селекции
Table 8 – Correlation relationships between biometric, physiological and production indicators of foreign-bred potato varieties

Показатель 1 / Indicator 1	Показатель 2 / Indicator 2	r	Уровень значимости / Significance level	Характер связи / Type of relationship
Высота растений / Plant height	Количество стеблей / Number of stems	0,54	p < 0,05	положительная, умеренная / positive, moderate
Высота растений / Plant height	Количество листьев / Number of leaves	0,58	p < 0,05	положительная, умеренная / positive, moderate
Высота растений / Plant height	ПЛП / Leaf area	0,61	p < 0,01	положительная, заметная / positive, noticeable
Высота растений / Plant height	Урожайность / Yield	0,52	p < 0,05	положительная, умеренная / positive, moderate
Количество стеблей / Number of stems	Количество листьев / Number of leaves	0,67	p < 0,01	положительная, заметная / positive, noticeable
Количество стеблей / Number of stems	ПЛП / Leaf area	0,58	p < 0,05	положительная, умеренная / positive, moderate
Количество стеблей / Number of stems	Урожайность / Yield	-0,45	p < 0,05	отрицательная, умеренная / negative, moderate
Количество листьев / Number of leaves	ПЛП / Leaf area	0,72	p < 0,01	положительная, сильная / positive, strong
Количество листьев / Number of leaves	Урожайность / Yield	0,38	P > 0,05	положительная, слабая / positive, weak
ПЛП / Leaf area	Урожайность / Yield	0,68	p < 0,01	положительная, заметная / positive, noticeable
ПЛП / Leaf area	Товарность / Yield	0,42	p < 0,05	положительная, умеренная / positive, moderate
Количество стеблей / Number of stems	Товарность / Marketability	-0,38	p > 0,05	отрицательная, слабая / negative, weak
ЧПФ / NPP	Урожайность/ Yield	0,52	p < 0,05	положительная, умеренная / positive, moderate
ЧПФ / NPP	ПЛП / Leaf area	-0,71	p < 0,01	отрицательная, сильная / negative, strong
ЧПФ / NPP	Товарность / Marketability	0,44	p < 0,05	положительная, умеренная / positive, moderate

Следует отметить высокое значение гомеостатичности у сорта Ред Скарлетт – 514, которое более чем в 7 раз превышает аналогичный показатель у сорта Винета – 68,9. Это объясняется экстремально низкой вариабельностью урожайности данного сорта по годам. Согласно методике В. В. Хангильдина, гомеостатичность обратно пропорциональна величине среднего квадратического отклонения и прямо пропорциональна средней урожайности, поэтому при очень высокой стабильности даже при невысокой средней продуктивности формируется очень высокое значение Hom. Таким образом, высокие показатели гомеостатичности у Ред Скарлетт не свидетельствуют о его высокой адаптивности, а являются следствием стабильности фенотипа.

Для количественной оценки взаимосвязей между биометрическими показателями, физиологическими параметрами и продуктивностью сортов картофеля проведён корреляционный анализ с расчётом коэффициента Пирсона (r). Выявленные корреляционные связи позволяют определить лимитирующие факторы формирования урожая в условиях острозасушливого климата.

Установлено, что ключевым фактором, определяющим уровень урожайности, является площадь листовой поверхности ($r = 0,68$; $p < 0,01$), однако эффективность её использования (ЧПФ) также имеет значимую связь с продуктивностью.

Выявленная отрицательная корреляция между количеством стеблей и урожайностью ($r = -0,45$; $p < 0,05$) указывает на необходимость оптимизации густоты стояния растений при возделывании сортов с высокой кустистостью, так как, несмотря на формирование мощного габитуса, урожайность и товарность могут снижаться из-за усиления внутривидовой конкуренции.

Выявленная сильная отрицательная связь между ЧПФ и ПЛП ($r = -0,71$; $p < 0,01$) свидетельствует о том, что сорта с высокой эффективностью фотосинтеза формируют меньшую листовую поверхность и это необходимо учитывать при выборе технологии возделывания.

Выводы. В результате агроэкологического испытания девяти сортов картофеля иностранной селекции в острозасушливых условиях Волгоградской области установлены значительные межсортовые различия по продуктивности, стабильности и адаптивности.

Наиболее перспективным для производства в условиях региона является раннеспелый сорт Винета, сформировавший максимальную среднюю урожайность, высокую товарность, стабильность и адаптивность.

В группе среднеспелых сортов лидером по адаптивности является сорт Отолия (35,2 т/га, товарность 94,4 %, высокая гомеостатичность).

Сорта Ред Скарлетт и Рикарда характеризуются высокой стабильностью и гомеостатичностью при невысокой продуктивности и могут использоваться в качестве страховых.

Корреляционный анализ выявил, что ключевым фактором урожайности является площадь листовой поверхности ($r = 0,68$; $p < 0,01$); также установлена отрицательная связь между количеством стеблей и урожайностью ($r = -0,45$; $p < 0,05$), а также между чистой продуктивностью фотосинтеза и площадью листовой поверхности ($r = -0,71$; $p < 0,01$).

Для успешной сортосмены и обеспечения рентабельности картофелеводства в Южном федеральном округе рекомендовано к внедрению использование раннеспелого сорта Винета и среднеспелого сорта Отолия, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков и высокой адаптивной способностью к острозасушливым условиям.

Conclusions. Results of agricultural and ecological testing of nine potato varieties of foreign breeding in the severely arid conditions of the Volgograd region have revealed significant inter varietal differences in productivity, stability, and adaptability.

The most promising for production in the region's conditions is the early-ripening variety Vineta, which produced the highest average yield, high marketable quality, stability, and adaptability, confirming its reliability under contrasting weather conditions.

Among the medium-ripening varieties, the leader in adaptability is the variety Otolia, providing a yield of 35.2 t/ha, the highest marketable quality (94.4 %), and high homeostaticity. This variety is recommended for cultivation as the main one in the medium-ripening group.

The varieties Red Scarlet and Ricarda are characterized by high yield stability and homeostaticity; however, their productivity is not high. These varieties can be used as insurance to reduce risks under adverse weather conditions.

Correlation analysis revealed that the key factor determining yield level is leaf area ($r = 0.68$; $p < 0.01$). A negative relationship was also established between stem number and yield ($r = –0.45$; $p < 0.05$), as well as between net photosynthetic productivity and leaf area ($r = –0.71$; $p < 0.01$), which must be taken into account when optimizing cultivation technology.

For successful variety rotation and ensuring the profitability of potato growing in the Southern Federal District, the introduction of the early-ripening variety Vineta and the medium-ripening variety Otolia is recommended, as they possess a complex of economically valuable traits and high adaptive capacity to severely arid conditions.

Библиографический список

1. Боева Т. В., Байрамбеков Ш. Б., Соколова Г. Ф. Сорта картофеля отечественной и зарубежной селекции для орошаемых условий юга России. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (170). С. 45-52

2. Chairi F., Aien A., Carli C. Multi-stress tolerance in potato: field evaluation of commercial varieties under combined heat and drought. Potato Research. 2025. V. 68. Pp. 123-142.

3. Симаков Е. А., Яшина И. М., Склярова Н. П. Селекция картофеля в России: общие тенденции и достижения. Достижения науки и техники АПК. 2007. № 7. С. 8-11.

4. Жигадло Т. Е. Адаптивный потенциал сортов картофеля в условиях Центрального региона России. Вестник аграрной науки. 2022. № 3 (90). С. 67-73.

5. Караваева Е. С. Результаты испытания сортов картофеля в условиях европейского севера. Овощи России. 2023. № 6. С. 123-128.

6. Амелюшкина Т. А. Оценка сортов для производства раннего картофеля. Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (83). С. 34-38.

7. Симаков Е. А. Повышение конкурентоспособности отечественной селекции картофеля. Картофельная система. 2016. № 3. С. 25-27.

8. Андросов П. А., Плескачёв Ю. Н., Анишко М. Ю., Плескачёв Н. Ю. Фотосинтетическая деятельность раннего картофеля в Северном Прикаспии. Аграрная Россия. 2025. № 12. С. 30-33.

9. Чумак В. А. Агроэкологические условия возделывания картофеля Обь-Иртышского Севера. Достижения науки и техники АПК. 2006. № 10. С. 26-28.

10. Wheeler R. M., Tibbitts T. W., Corey K. A. Potato and Human Exploration of Space: Some Observations from NASA-Sponsored Controlled Environment Studies. Potato Research. 2006. V. 49. Pp. 67-90.

11. Рубцов С. Л., Бакунов А. Л., Милехин А. В., Дмитриева Н. Н. Критерии отбора новых сортов картофеля для условий Средневолжского региона. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (75). С. 56-61.

12. Дубенок Н. Н., Болотин Д. А., Фомин С. Д., Болотин А. Г. Отзывчивость различных сортов картофеля на водный режим светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 24-28.
13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 351 с.

References

1. Boeva T. V., Bayrambekov Sh. B., Sokolova G. F. Potato varieties of domestic and foreign breeding for irrigated conditions of southern Russia. Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2021. No. 5 (170). Pp. 45-52.
2. Chairi F., Aien A., Carli C. Multi-stress tolerance in potato: field evaluation of commercial varieties under combined heat and drought. Potato Research. 2025. V. 68. Pp. 123-142.
3. Simakov E. A., Yashina I. M., Sklyarova N. P. Potato breeding in Russia: general trends and achievements. Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex. 2007. No. 7. Pp. 8-11.
4. Zhigadlo T. E. Adaptive potential of potato varieties in the conditions of the Central region of Russia. Bulletin of Agrarian Science. 2022. No. 3 (90). Pp. 67-73.
5. Karavaeva E. S. Results of testing potato varieties in the conditions of the European North. Vegetables of Russia. 2023. No. 6. Pp. 123-128.
6. Amelyushkina T. A. Evaluation of varieties for early potato production. Bulletin of Orel State Agrarian University. 2020. No. 2 (83). Pp. 34-38.
7. Simakov E. A. Improving the competitiveness of domestic potato breeding. Potato System. 2016. No. 3. Pp. 25-27.
8. Androsov P. A., Pleskachev Yu. N., Anishko M. Y., Pleskachev N. Yu. Photosynthetic activity of early potatoes in the Northern Caspian region. Agrarian Russia. 2025. No. 12. Pp. 30-33.
9. Chumak V. A. Agricultural and ecological conditions for potato cultivation in the Ob-Irtysh North. Achievements of Science and Technology of Agro-Industrial Complex. 2006. No. 10. Pp. 26-28.
10. Wheeler R. M., Tibbitts T. W., Corey K. A. Potato and Human Exploration of Space: Some Observations from NASA-Sponsored Controlled Environment Studies. Potato Research. 2006. V. 49. Pp. 67-90.
11. Rubtsov S. L., Bakunov A. L., Milekhin A. V., Dmitrieva N. N. Selection criteria for new potato varieties for the conditions of the Middle Volga region. Proceedings of Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 1 (75). Pp. 56-61.
12. Dubenok N. N., Bolotin D. A., Fomin S. D., Bolotin A. G. Responsiveness of different potato varieties to the water regime of light chestnut soils of the Lower Volga region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No. 4 (52). Pp. 24-28.
13. Dospekhov B. A. Methods of Field Experiment. Moscow: Kolos, 1985. 351 p.

Информация об авторах

Гиченкова Ольга Геннадьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: olga.gichenkova@mail.ru
Лаптина Юлия Александровна, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, ФИЦ «Немчиновка» (Российская Федерация, г. Москва, Большой бульвар, 30с1, Инновационный центр Сколково), e-mail: ylaptina82@mail.ru
Маликова Полина Сергеевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: polina_aleksashenkova@mail.ru
Лаптин Алексей Юрьевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: alptin@mail.ru

Authors' information

Gichenkova Olga Gennadievna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: olga.gichenkova@mail.ru
Laptina Yulia Aleksandrovna, Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, FIC Nemchinovka (Russian Federation, Moscow, Bolshoy Boulevard, 30s1, Skolkovo Innovation Center), e-mail: ylaptina82@mail.ru
Malikova Polina Sergeevna, Postgraduate Student, Volgograd State Agricultural University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: polina_aleksashenkova@mail.ru
Laptin Alexey Yurievich, Postgraduate Student, Volgograd State Agricultural University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: alptin@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-18

THE CREATION OF INNOVATIVE TOMATO VARIETIES WITH THE ECONOMICALLY VALUABLE MORPHOLOGICAL FEATURES IN THE SOUTHERN RUSSIA ARID ZONE CONDITIONS

Gulin A. V., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Yu., Kostenko A. N.

All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing –
the Branch of the Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Kamyzyak, Astrakhan Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vniiob@mail.ru

Received 02.04.2026 Submitted 03.06.2026

The research was carried out as part of the state assignment on the topic No FNMW-2025-0005 "To create innovative varieties and hybrids of agricultural crops with high cytogenetic and reproductive potential for irrigated agriculture in the arid zone of the South of Russia and to develop adaptive resource-saving elements of zonal agricultural technologies and variety-specific cultivation techniques" (Reg. No 125012700841-1) of the budget financing program for 2025-2029 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Abstract

Introduction. The relevance of the research is driven by the need to create new tomato varieties adapted to the stress factors of the arid zone of southern Russia to ensure stable production. The development of varieties with a complex of economically valuable morphological traits is aimed at increasing yield and im-

proving the commercial quality of the produce, which is a priority for modern breeding. **The aim of the study** is to create highly productive breeding lines of tomato with original fruit color and shape, resistant to biotic and abiotic factors in the conditions of the Lower Volga region. The studies were conducted at the All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – a branch of the FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences» from 2023 to 2025. The work was carried out according to generally accepted methods of breeding and variety testing of vegetable crops. **The objects of study** were 5 breeding lines of tomato. **Results and conclusions.** The new tomato breeding lines are characterized by high yields (34.7-46.3 t/ha) and excellent taste qualities (tasting score of 4.6-5.0 points). Line SL-125 (cocktail type) forms plum-shaped fruits with an average weight of 38 g and is recommended for cultivation in open and protected ground. Lines SL-132, SL-155, SL-199, and SL-290 are large-fruited (128-185 g), have a similar primary color, but differ in the expression of their secondary color. Their fruits are versatile: suitable for fresh consumption, pickling, and processing into juices and sauces. Furthermore, lines SL-290 and SL-199 possess high potential adaptability and productivity, with adaptability coefficients of 1.17 and 1.04, respectively. The created lines are valuable donors of original traits for further breeding work. They expand the genetic diversity of the existing gene pool and serve as a basis for developing new domestic tomato varieties and hybrids.

Keywords: *tomato, tomato breeding, morphological characteristics of tomato varieties, color of tomato fruits, tomato breeding lines, and tomato varieties.*

Citation. Gulin A. V., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Yu., Kostenko A. N. The creation of innovative tomato varieties with the economically valuable morphological features in the Southern Russia arid zone conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 169-179 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-18.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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

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

УДК 635.64:631.527:631.524.84

СОЗДАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СОРТОВ ТОМАТОВ С ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫМИ МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ ПРИЗНАКАМИ В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ ЮГА РОССИИ

Гулин А. В., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Кигашпаева О. П., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Джабраилова В. Ю., *младший научный сотрудник*
Костенко А. Н., *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»
г. Камызяк, Астраханская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения Госзадания по теме № FNMW-2025-0005 «Создать инновационные сорта и гибриды сельскохозяйственных культур с высоким цитогенетическим и репродуктивным потенциалом для орошаемого земледелия аридной зоны Юга России и отработать адаптивные ресурсосберегающие элементы зональных агротехнологий и сортовой агротехники их возделывания» (Рег. № 125012700841-1) программы бюджетного финансирования на 2025-2029 гг. Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания новых сортов томатов, адаптированных к стрессовым факторам аридной зоны юга России для обеспечения стабильного производства. Разработка сортов с комплексом хозяйственно ценных морфологических признаков направлена на повышение урожайности и улучшение товарных качеств продукции, что является приоритетной задачей современной селекции. **Цель исследований** – создание высокопродуктивных селекционных линий томата с оригинальной окраской и формой плодов, устойчивых к абиотическим стрессовым факторам в условиях Нижнего Поволжья. **Материалы и методы.** Исследования проводили во Всероссийском НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиале ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в 2023-2025 годах. Работа выполнена согласно общепринятым методикам селекции и сортоиспытания овощных культур. **Объектами** изучения служили 5 селекционных линий томата. **Результаты и выводы.** Новые селекционные линии томата характеризуются высокой урожайностью (34,7-46,3 т/га) и отличными вкусовыми качествами (дегустационная оценка 4,6-5,0 балла). Линия СЛ-125 (коктейльный тип) формирует сливовидные плоды средней массой 38 г и рекомендована для выращивания в открытом и защищенном грунте. Линии СЛ-132, СЛ-155, СЛ-199 и СЛ-290 являются крупноплодными (128-185 г), имеют схожую основную окраску, но различаются характером проявления дополнительного цвета. Их плоды универсальны: подходят для потребления в свежем

виде, засолки и переработки на соки и соусы. Кроме того, линии СЛ-290, и СЛ-199 обладают высокой потенциальной адаптивностью и продуктивностью: коэффициент адаптивности у них составляет 1,17 и 1,04. Созданные линии являются ценными донорами оригинальных признаков для дальнейшей селекционной работы. Они расширяют генетическое разнообразие имеющегося генофонда и служат основой для выведения новых отечественных сортов и гибридов томата.

Ключевые слова: *томаты, селекция томата, морфологические признаки сортов томата, окраска плодов томата, селекционные линии томата, сорта томатов.*

Цитирование. Гулин А. В., Кигашпаева О. П., Джабраилова В. Ю., Костенко А. Н. Создание инновационных сортов томатов с хозяйственно ценными морфологическими признаками в условиях аридной зоны юга России. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 169-179. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-18.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Томат – одна из популярных овощных культур, его плоды используют в свежем виде и как продукты переработки. Астраханская область – один из лидеров по производству томатов в России. Благодаря использованию подходящих сортов и применению современных технологий, выращивание культуры томата способствует развитию агропромышленного комплекса, повышает эффективность овощеводства, увеличивает доходы сельхозпроизводителей и тем самым обеспечивает продовольственную безопасность страны [1-3]. Согласно статистическим данным, в 2025 году валовой сбор овощной продукции в Астраханской области превысил 1,5 млн тонн. В общей структуре производства на долю томатов пришлось порядка 800 тыс. тонн[1].

Томат является ценной в питательном и вкусовом отношении овощной культурой, в плодах которой содержатся минеральные соли, ферменты, сахара, белки, органические кислоты, железо, витамины С, B_1, B_2, B_6, Р, РР, К, А. Из его плодов готовят салаты, сок, пасту, пюре, соусы; их консервируют и сушат. Главными критериями у покупателей при выборе плодов томата являются свежесть и спелость. С трендом на здоровое питание связаны общий внешний вид и разнообразная окраска плодов томата. Цена уже не является единственным фактором при выборе продукции [4, 5]. Сегодня всё больше людей обращают внимание на происхождение продукции, предпочитая овощи от местных производителей в ожидании лучшего вкуса и свежести, а астраханские помидоры – признанный бренд.

Однако агроклиматические условия региона, относящегося к аридной зоне, характеризуются рядом стрессовых факторов: высокими летними температурами, низкой относительной влажностью воздуха, дефицитом водных ресурсов и засолением почв. Эти факторы существенно лимитируют реализацию генетического потенциала продуктивности существующих сортов [6]. В связи с этим, приоритетным направлением селекции становится создание сортов, генетически адаптированных к засухе и жаре, и при этом обладающих не только высокой урожайностью, но и уникальными потребительскими качествами (внешний вид, вкус, биохимический состав). Рынок требует разнообразия – плодов разной формы, окраски, размера и назначения. Поэтому селекция на оригинальные морфологические признаки, сопряженная с отбором на адаптивность, является актуальной и инновационной задачей.

В последние десятилетия особой популярностью стали пользоваться сорта томатов уникального вида, так называемые «биколоры». Своё название они получили благодаря двухцветной окраске, которая делает их не только привлекательными для глаз, но и более питательными. Плоды этих сортов могут быть разноцветными, например красно-желтыми, зелено-желтыми или оранжево-красными [7, 8]. Также существуют сорта с неравномерной окраской плодов, на которых чередуются полосы или пятна. Разнообразие окраски плодов томата – результат мутаций генов. Изменяя классическую для томата красную окраску, та-

[1] *Астраханская область портал органов власти [Электронный ресурс]. URL: https://www.astrobl.ru/news/astrahanskaya-oblast-ukreplyaet-status-vserossiyskoy-tomatnoy-stolicy?ysclid=mmbpkbklpt860109719* (дата обращения: 10.02.2026).

кие гены, прежде всего, действуют на его биохимический состав и, в особенности, на содержание каротиноидов. Это делает их не только привлекательными для глаз, но и интересными для использования в кулинарии. Кроме того, что этот вид томата отличается своим внешним видом, он также выделяется вкусовыми качествами: они у сортов томата группы «биколор» тоже довольно специфические, в них присутствуют непривычные нотки, и по сравнению с обычными томатами они обладают более сложным вкусом: сочетают в себе сладость и кислотность, что делает их идеальным ингредиентом для различных блюд. За необычную расцветку отвечают одновременно несколько пигментов. При этом, хотя цвета объединяются, они не перемешиваются [9, 10].

Основная польза томатов-биколоров заключается в их богатом содержании антиоксидантов, таких как витамин С и бета-каротин. Антиоксиданты помогают защитить организм от вредного воздействия свободных радикалов, которые могут привести к повреждению клеток и развитию различных заболеваний. Помидоры-биколоры также содержат витамин А, который не только помогает поддерживать хорошее зрение, но и укрепляет иммунную систему. Они богаты витаминами группы В, которые необходимы для нормального функционирования нервной системы, обмена веществ и производства энергии [11]. Необычная расцветка таких томатов распространяется не только на кожицу, но и на мякоть. Кроме того, томаты группы «биколор» имеют более плотную и сочную структуру с богатым вкусом, низким содержанием кислот, повышенной сладостью и насыщенным ароматом, что делает их идеальным выбором как для потребления в свежем виде и засолки, так и для приготовления соусов, салатов, соков, паст и других блюд. Они также хорошо сочетаются с другими овощами и фруктами, что позволяет создавать разнообразные и вкусные комбинации [12-14].

Работа по созданию сортов группы «биколор» селекционерами Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» ведется более 30 лет [15]. Создан ряд сортов, несущих эти признаки: красные и малиновые крупные округлые плоды с золотистыми полосами по всему плоду («Обольститель», «Малиновая заря»); плоды сливовидной формы розовой окраски с серебристыми полосами («Клеопатра», «Лучистый») и др.

Целью исследований являлось создание и комплексная оценка новых селекционных линий томата, сочетающих высокую адаптивность к условиям аридной зоны с комплексом оригинальных хозяйственно ценных признаков, для дальнейшего использования выделенных генотипов в качестве ценных генетических доноров.

Научная новизна – созданные линии томата с признаками новых генетических источников качественных признаков по окраске, форме, размеру плодов и возможностью создания на их основе конкурентоспособных сортов и гибридов в условиях Астраханской области.

Материалы и методы. Работа проводилась во Всероссийском НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства – филиале ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в 2023-2025 годах в рамках НИР по выполнению Государственного задания в соответствии с общепринятыми методиками и рекомендациями: «Методические указания по селекции сортов и гибридов томата для открытого и защищенного грунта», «Развитие новых направлений и методов селекции пасленовых культур, удешевляющих производство и улучшающих качество продукции», «Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур»; скрещивания селекционных образцов проводились в соответствии с «Методикой производства гибридных семян овощных культур». Закладка полевых опытов, проведение оценки, отбора и описания, оценка на устойчивость к болезням растений и линий томата проводились на естественном инфекционном фоне (вершинная гниль, фузариоз) в сочетании с оценкой по жаро- и засухоустойчивости при высоких положительных естественных температурах воздуха в полевых условиях – согласно общепринятым методикам. С помощью рефрактометра AQUA-LAB определяли содержание сахара в водном растворе в плодах томатов (показатель Брикс) («Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ» (ГОСТ ISO 2173–2013).

Объектами изучения были новые селекционные линии томата с проявлениями оригинальных качественных признаков: СЛ-125, СЛ-132, СЛ-155, СЛ-199 и СЛ-290.

Климат зоны проведения исследований резко континентальный, характеризуется жарким засушливым летом и малоснежной зимой. По средним многолетним наблюдениям, заморозки прекращаются во второй декаде апреля, но в отдельные годы возвратные заморозки наблюдаются в первой декаде мая.

Среднедекадная температура воздуха периода проведения исследований 2023-2025 гг.: в первой декаде апреля на 3,4; 3,9 и 3,9 °С по годам соответственно превышала среднемноголетнюю (+8,8 °С). В ночное время отмечалось понижение до +2…+ 3 °С. Во второй декаде апреля среднедекадная температура составляла от 12,7 до 17,6 °С. В ночное время устанавливалась постоянная положительная температура +5-12 °С, и к концу декады дневная температура составляла +25-27 °С. В третьей декаде среднемноголетний показатель по годам был превышен на 7,0; 10,1 и 5,4 °С. Сумма осадков за апрель составляла 34,0 мм (2023 г.), 2,1 мм (2024 г.) и 20,3 мм (2025 г.). Ветреная, сухая и теплая погода установилась в мае, с повышением температуры до 27-28 °С, а к концу месяца – до 31,0-33,0 °С. За месяц выпало соответственно по годам 31,4, 7,9 и 0,9 мм осадков. Июнь отличается жаркой и сухой погодой. Среднемесячная температура составляла 23,4-26,3 °С. За месяц выпало от 3,1 до 18,7 мм осадков. Средняя температура за июль составляла 27,7-28,4 °С, за месяц выпало по годам 38,0, 0,6 и 12,5 мм осадков. Среднесуточная температура воздуха в I декаде августа составляла от 27,7 до 28,2 °С. В дневное время температурные показатели достигали 35,0 °С. К концу месяца температура несколько понижалась, но в отдельные дни достигала 32,0 °С. Осадков за месяц выпадало от 7,1 до 14,3 мм. В первой декаде сентября дневные температуры воздуха варьировали от 19,5 до 28,4 °С, в ночное время температура понижалась до 10,0-15,0 °С. Во второй и третьей декадах сентября среднесуточная температура воздуха составляла от 15,2-20,0 °С. В общей сложности за период проведения наблюдений с апреля по сентябрь в 2023 году выпало 143,6 мм, в 2024 году – 14,8 мм, а в 2025 году – 74,8 мм осадков при среднемноголетней норме 96,3 мм. Как видно из данных, в течение вегетационного периода с апреля по сентябрь погодные условия характеризовались высокой интенсивностью температуры, жарой, почвенной и воздушной засухой, повышенной солнечной инсоляцией, что вызывает у растений задержку развития, опадание завязи и снижение урожая. Агроклиматические условия Нижнего Поволжья, относящегося к зоне рискованного земледелия, обусловливают необходимость применения орошения для успешного возделывания сельскохозяйственных культур.

Посев томата проводили в I декаде апреля в остекленной теплице на солнечном обогреве по схеме 5х3 см. Уход за растениями в теплице включал поливы, рыхления, прополку сорняков в рядках.

Подготовка опытного поля заключалась в осенней зяблевой вспашке отвальным плугом ПЛН-4-35 в агрегате с трактором МТЗ «Беларусь 952.3» на глубину 25-27 см и весенней обработке почвы: ранневесеннем покровном бороновании зубовыми боронами БЗС-1.0 в 2 следа в сцепке БЗП-6, предпосевной культивации культиватором КПС-4, нарезки борозд культиватором КРН – 4,2 с одновременным внесением удобрений и раскладкой ленты капельного орошения. Высадка рассады в открытый грунт проводилась вручную во II декаде мая по схеме посадки 1,4х0,2 м. Способ полива – капельное орошение, с внесением водорастворимых минеральных удобрений способом фертигации. Сроки и нормы полива в течение вегетации устанавливались с учетом состояния растений, влажности почвы и метеоусловий. Предпосадочный полив проводили с нормой 350 м^3/га, послепосадочный – 70 м^3/га, вегетационные поливы – от 70 до 250 м^3/га. За период вегетации проведено 34 полива, 2 ручные прополки и 3 междурядных культивации культиватором КРН-4,2. Для защиты растений от вредителей (колорадский жук и хлопковая совка) проведено 2 обработки инсектицидами с использованием навесного штангового опрыскивателя ОНШ-800.



а б в г д

Рисунок 1 – Новые селекционные линии томата с проявлениями оригинальных качественных признаков: а) СЛ-125, б) СЛ-132, в) СЛ-155, г) СЛ-199, д) СЛ-290
Figure 1 – New tomato breeding lines exhibiting original qualitative traits: a) SL-125, b) SL-132, c) SL-155, d) SL-199, e) SL-290

Результаты и обсуждение. В результате оценки генетического разнообразия 460 селекционных образцов томата были выделены 5 перспективных селекционных форм с идентичными характеристиками (фенотипами), сочетающих и сохраняющих в потомстве признаки, характерные для сортов томата группы «биколор» (рисунок 1):

- линия СЛ-125 с растениями индетерминантного типа, высотой до 1,5 м, кисть у нее простая и промежуточная. Оригинальное красивое созревание плодов: по мере созревания окраска меняется от светло-зеленой до желто-оранжевой и красной в фазе полного биологического созревания с полосами по всей длине плода. Форма плодов сливовидная с небольшим носиком. Этот образец можно отнести к коктейльным сортам томата, так как они имеют небольшой размер и легко помещаются на шпажках или в канапе, идеально подходят для фуршета;

- линия СЛ-132 растения штамбового типа, плоды округлой формы, в начале созревания желтые, а в полной биологической фазе зрелости – розовые с размытыми желтыми пятнами по всему плоду;

- линия СЛ-155 характеризуется обыкновенным детерминантным типом куста. Плоды плоскоокруглые, сильно выражено зеленое пятно у несозревшего плода, возле плодоножки наблюдается небольшая ребристость, плодоножка с разделительным слоем. Плоды плотные, на растении хранятся долго;

- линия СЛ-199, выделилась очень красивыми выровненными плодами и сохраняет все признаки в потомстве: обыкновенный тип растения с плодами плоскоокруглой формы, многокамерными, массой от 100 до 200 г, с красивой оригинальной окраской: поверхность созревших плодов желтая, а из-под кожицы проступает красно-розовая окраска. При поперечном или продольном разрезе сердцевина плода имеет красно-розовую окраску;

- линия СЛ-290 представляет особый интерес благодаря плодам сердцевидной формы, лимонной окраски в начале созревания и почти оранжевой в полной зрелости с разной степенью интенсивности красной сердцевиной. Поверхность плода глянцевая, ровная, сквозь кожицу проступает красная окраска.

Как видно из полученных данных, растения изучаемых линий различались типом куста, формой, длиной, диаметром и окраской плодов, наличием или отсутствием сочленения плодоножки и зеленого пятна на плоде (таблица 1).

Таблица 1 – Морфологические признаки образцов томата селекции ВНИИООБ
Table 1 – Morphological traits of tomato varieties from the VNIIOOB breeding program

Образец / Sample	Тип растения / Plant type	Плод / Fruit						
		форма плода / fruit shape	окраска плода / fruit color	длина плода, см / fruit length, cm	диаметр плода, см / fruit diameter, cm	индекс плода / fruit index	пятно / spot	сочленение / joint
СЛ-125 / SL-125	обыкновенный индетерминантный / the ordinary indeterminate	сливовидный с носиком / plum-shaped with a nose	желто-красная с полосами / yellow-red with stripes	3,6	2,4	1,50	нет / no	есть / in sight
СЛ-132 / SL-132	штамбовый / standard	округлый / round	желтый с малиновым / yellow with crimson	5,4	7,2	0,75	нет / no	нет / no
СЛ-155 / SL-155	обыкновенный детерминантный / the ordinary determinant	плоскоокруглый / flat-round	желтый с розовым / yellow with pink	5,3	6,8	0,80	есть / in sight	есть / in sight
СЛ-199 / SL-199	обыкновенный детерминантный / the ordinary determinant	плоскоокруглый / flat-round	желтый с красным / yellow with red	5,6	6,9	0,81	нет / no	есть / in sight
СЛ-290 / SL-290	обыкновенный индетерминантный / ordinary indeterminate	сердцевидный / heart-shaped	желтый с красным / yellow with red	7,4	11,7	0,63	есть / in sight	есть / in sight

Комплексная оценка морфологических признаков изучаемых селекционных линий томата (СЛ-125, СЛ-132, СЛ-155, СЛ-199, СЛ-290) выявила существенные различия, которые определяют их назначение и способы выращивания. Габитус изученных образцов варьирует от обыкновенного индетерминантного (СЛ-125, СЛ-290) и детерминантного (СЛ-155, СЛ-199) до компактного штамбового (СЛ-132), перспективного для загущенных посадок с целью повышения общей урожайности с единицы площади. На основании расчета индекса формы плода исследуемые линии классифицированы на мелкоплодные сливовидные с носиком (СЛ-125, индекс 1,50), округлые и плоскоокруглые массового коммерческого типа (СЛ-132, СЛ-155, СЛ-199; индекс 0,75-0,81) и крупноплодные сердцевидные биф-томаты (СЛ-290; индекс 0,63 при максимальном диаметре 11,7 см). Высокий коммерческий потенциал подтверждается стабильным проявлением признака «биколор», характеризующегося базовым желтым окрасом эпидермиса с вариативной дополнительной пигментацией (от красно-полосатой до малиновой и розовой). Важнейшими характеристиками, определяющими товарное качество исследуемых селекционных линий томата, являются гомогенность созревания и тип сочленения плода. Равномерное созревание, характеризующееся отсутствием нежелательного зеленого пятна у плодоножки, зафиксировано у гено-

типов СЛ-125, СЛ-132 и СЛ-199. Ключевым преимуществом линии СЛ-132, определяющим её селекционную ценность, является пригодность к механизированной уборке (плодоножка без сочленения).

Изучаемые образцы характеризуются хорошей общей урожайностью – от 34,7 т/га (СЛ-125) до 46,3 т/га (СЛ-290), при высоком показателе товарности плодов на уровне 92,3-96,8 %. Средняя масса, в зависимости от формы и размера плода разная: у СЛ-125 она составляла 38 г., у линий СЛ-132, СЛ-155 и СЛ-199 – от 128 до 160 г., а у линии СЛ-290 – 185 г. В плодах изучаемых линий с помощью рефрактометра был проведен анализ по определению показателя Брикс. Как видно из представленных данных, он варьировал от 4,8 до 5,5 °Brix, что свидетельствует о высоких вкусовых качествах плодов, так как данный показатель напрямую коррелирует с их сахаристостью и органолептическими характеристиками. Эти качества были подтверждены и при проведении органолептического анализа: дегустационная оценка составляла от 4,6 до 5,0 балла. В зависимости от сортовых характеристик плоды изучаемых образцов имеют различное назначение: линия СЛ-125 подходит для салатов, цельноплодного консервирования и украшения блюд, линии СЛ-132, СЛ-155 и СЛ-199 относятся к салатному типу, а СЛ-290 – к деликатесному (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика сортов томата по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2023-2025 гг.)
Table 2 – Economic and biological evaluation of tomato varieties (2023-2025 average)

Сорт / Variety	Период (суток) от массовых всходов до начала созревания / Period (days) from mass emergence to the beginning of ripening	Общая урожайность, т/га / Total yield, t/ha	Товарность, % / Marketability, %	Средняя масса плода, г / Average fruit weight, g	Дегустационная оценка, балл / Tasting score, point	Brix
СЛ-125 / SL-125	126	34,7	96,8	38	5,0	4,9
СЛ-132 / SL-132	136	36,2	94,2	135	4,6	5,0
СЛ-155 / SL-155	130	38,4	95,7	128	4,8	5,5
СЛ-199 / SL-199	132	41,1	94,6	160	4,8	5,2
СЛ-290 / SL-290	124	46,3	92,3	185	5,0	5,5

Важным фактом является определение потенциальной продуктивности изучаемых образцов. Для этого было проведено изучение коэффициента адаптивности (КА), который рассчитывался по методике Л. А. Животкова и др.

$$КА = \frac{X_{ij}}{X_i} \cdot 100\ \%,$$

где X_i – средняя продуктивность сорта за годы исследований; X_{ij} – средняя продуктивность изучаемых сортов за годы исследований.

Как видно из данных расчета коэффициента адаптивности, наиболее высокими потенциальной адаптивностью и продуктивностью обладают линии СЛ-290, и СЛ-199. У них КА составлял 1,17 и 1,04 соответственно. Близок к единице показатель КА у линии СЛ-155 – норма реакции составляет 0,97, что говорит о ее толерантности к биотическим и абиотическим стрессовым факторам региона, а у линий и СЛ-132 и СЛ-125 наблюдается более низкая стабильность и пластичность устойчивость к неблагоприятным факторам среды выращивания (0,92 и 0 88) (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели адаптивности перспективных образцов томата сортов группы «биколор» по признаку «урожайность»
Table 3 – Adaptability indicators of promising «bicolor» group tomato varieties based on the «yield» trait

Сорт / Variety	Общая урожайность, т/га / Total yield, t/ha				Доля урожайности относительно среднесортовой, % / Yield share relative to the average varietal yield, %				Коэффициент адаптивности / Adaptability coefficient			
	2023	2024	2025	среднее за 2023-2025 гг. / average for 2023-2025	2023	2024	2025	среднее за 2023-2025 гг. / average for 2023-2025	2023	2024	2025	среднее за 2023-2025 гг. / average for 2023-2025
СЛ-125 / SL-125	33,4	32,1	38,6	34,7	88,6	88,7	87,5	88,3	0,88	0,88	0,87	0,88
СЛ-132 / SL-132	34,7	33,7	40,2	36,2	92,0	93,0	91,2	92,1	0,92	0,93	0,91	0,92
СЛ-155 / SL-155	37,3	34,8	43,1	38,4	99,0	96,1	97,7	97,7	0,99	0,96	0,97	0,97
СЛ-199 / SL-199	40,4	36,7	46,2	41,1	107,2	101,4	104,8	104,5	1,07	1,01	1,04	1,04
СЛ-290 / SL-290	42,5	43,8	52,6	46,3	112,7	120,9	119,2	117,6	1,12	1,20	1,19	1,17
Среднесортовая урожайность, т/га / Average varietal yield, t/ha	37,7	36,2	44,1	39,3	100,0	100,0	100,0	100,0	1,00	1,00	1,00	1,00

Важной характеристикой сорта, помимо урожайности и адаптивности, являются вкусовые качества плодов, определяемые их биохимическим составом. Анализ показал, что все изучаемые линии характеризовались высоким содержанием сухого вещества (5,1-5,6 %) и сахаров (4,6-5,4 %). Накопление витамина С в плодах варьировало от 56,34 мг% (линия СЛ-155) до 58,32 мг% (линия СЛ-290) (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание биохимических веществ в плодах томата сортов группы «биколор»
Table 4 – Biochemical content in the fruits of «bicolor» group tomato varieties

Название образца / Sample Name	Содержание сухого вещества, % / Dry Matter Content, %	Массовая доля общего сахара, % / Mass Fraction of Total Sugar, %	Массовая доля витамина С, мг% / Mass Fraction of Vitamin C, mg%
СЛ-125 / SL-125	5,6	5,4	56,84
СЛ-132 / SL-132	5,2	4,8	58,24
СЛ-155 / SL-155	5,4	4,6	56,34
СЛ-199 / SL-199	5,3	5,1	57,28
СЛ-290 / SL-290	5,1	5,4	58,32

Заключение. В результате направленной селекционной работы в условиях аридной зоны юга России созданы новые селекционные формы томатов, сочетающие адаптивность к стрессовым факторам среды с уникальными хозяйственно ценными признаками. С учетом хозяйственной ценности их можно использовать в качестве доноров для создания новых оригинальных сортов с целью расширения сортимента для различных направлений использования. Новые линии характеризуются хорошими урожайными (от 34,7 до 46,3 т/га) и вкусовыми (4,6-5,0 балла) качествами, при этом линия СЛ-125 с плодами сливовидной формы средней массой 38 г. относится к коктейльным сортам, ее можно рекомендовать и для выращивания в закрытом грунте. У линий СЛ-132, СЛ-155, СЛ-199 и СЛ-290 плоды крупные (128-185 г), имеют схожую основную окраску, но различаются характером проявления второй окраски. Следует отметить, что селекционные линии СЛ-290 и СЛ-199 характеризуются выраженным адаптивным потенциалом и высокой продуктивностью: фактические значения коэффициента адаптивности данных образцов составляют 1,17 и 1,04 соответственно. Их плоды рекомендуется применять как для потребления в свежем виде, для диетического питания, так и для засолки, приготовления соусов и соков. Созданные на их основе новые сорта будут способствовать обеспечению продовольственной безопасности государства.

Conclusion. As a result of targeted breeding work in the arid zone of Southern Russia, new tomato breeding forms have been developed that combine adaptability to environmental stress factors with unique economically valuable traits. Given their economic value, they can be used as donors for creating new original varieties to expand the assortment for various purposes. The new lines are characterized by good yield (from 34.7 to 46.3 t/ha) and flavor (4.6-5.0 points) qualities. Specifically, line

SL-125, with plum-shaped fruits and an average weight of 38g, belongs to the cocktail varieties and can also be recommended for protected ground cultivation. Lines SL-132, SL-155, SL-199, and SL-290 have large fruits (128-185 g) with a similar primary color but differ in the expression of their secondary color. It should be noted that breeding lines SL-290 and SL-199 are characterized by a pronounced adaptive potential and high productivity: the actual adaptability coefficients for these samples are 1.17 and 1.04, respectively. Their fruits are recommended for fresh consumption, dietary nutrition, pickling, and the preparation of sauces and juices. New varieties created on their basis will contribute to ensuring the food security of the state.

Библиографический список

1. Ушачев И. Г., Маслова В. В, Чекалин В. С. Импортозамещение и обеспечение продовольственной безопасности России. Овощи России. 2019. № 2. С. 3-8.
2. Пивоваров В. Ф., Солдатенко А. В., Пышная О. Н. и др. Продовольственная независимость и технологический суверенитет России в отрасли овощеводства. Овощи России. 2024. № 3. С. 5-17.
3. Солдатенко А. В., Разин А. Ф., Пивоваров В. Ф. и др. Овощи в системе обеспечения продовольственной безопасности России. Овощи России. 2019. № 2. С. 9-15.
4. Ших Е. В., Елизарова Е. В., Махова А. А., и др. Роль томатов и продуктов из них в здоровом питании человека. Вопросы питания. 2021. № 4 (536). С. 129-137.
5. Лущик А. А. Оценка потребности в овощах в соответствии с рациональными нормами их потребления. Овощи России. 2019. № 2. С. 16-21.
6. Зволинский В. П., Матвеева Н. И., Головин В. Г. и др. Продовольственная безопасность Астраханской области: состояние, проблемы и перспективы. Экономические отношения. 2019. № 2. С. 1189-1210.
7. Hu J., Wang J., Muhammad T. et al. Integrative Analysis of Metabolome and Transcriptome of Carotenoid Biosynthesis Reveals the Mechanism of Fruit Color Change in Tomato (Solanum lycopersicum). International Journal of Molecular Sciences. 2024. V. 25. Pp. 1-18.
8. Yang T., Ali M., Lin L., et al. Recoloring tomato fruit by CRISPR/Cas9-mediated multiplex gene editing. Horticulture Research. 2022. V. 10. Pp. 1-9.
9. Герасименко Н. Ф, Позняковский В. М., Челнакова Н. Г. Здоровое питание и его роль в обеспечении качества жизни. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. № 4. С. 52-57.
10. Baek M., Lee J., Yeo C. et al. Antioxidant profile, amino acids composition, and physicochemical characteristics of cherry tomatoes are associated with their color. Antioxidants. 2024. V. 13. Pp. 1-17.
11. Raza B., Hameed A., Saleem M. Fruit nutritional composition, antioxidant and biochemical profiling of diverse tomato (Solanum lycopersicum L.) genetic resource. Frontiers in Plant Science. 2022. V. 13. Pp. 1-35.
12. Кигашпаева О. П., Гулин А. В. Перспективные салатные сорта томата для Юга России. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 101-110.
13. Zhang J., Liu S., Zhu X., et al. A comprehensive evaluation of tomato fruit quality and identification of volatile compounds. Plants. 2023. V. 12. Pp. 1-18.
14. Ali M., Sina A., Khandker S. et al. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: a review. Foods. 2020. V. 10. Pp. 1-31.
15. Гулин А. В., Кигашпаева О. П., Капанова Р. Х. и др. Результаты и перспективы астраханской селекции овощных и бахчевых культур. Овощи России. 2021. № 5. С. 16-21.

References

1. Ushachev I. G., Maslova V. V., Chekalin V. S. Import substitution and ensuring food security of Russia. Vegetable crops of Russia. 2019. № 2. Pp. 3-8.
2. Pivovarov V. F., Soldatenko A. V., Pyshnaya O. N. et al. Food independence and technological sovereignty of Russia in the vegetable growing sector. Vegetable crops of Russia. 2024. № 3. Pp. 5-17.
3. Soldatenko A. V., Razin A. F., Pivovarov V. F. et al. Vegetables in the system of ensuring food security of Russia. Vegetable crops of Russia. 2019. № 2. Pp. 9-15.
4. Shikh E. V., Elizarova E. V., Makhova A. A., et al. The Role of tomatoes and products made from them in healthy human nutrition. Nutrition Issues. 2021. № 4 (536). Pp. 129-137.
5. Lushchik A. A. Assessment of the need for vegetables in accordance with rational norms of consumption. Vegetable crops of Russia. 2019. № 2. Pp. 16-21.
6. Zvolinskiy V. P., Matveeva N. N., Golovin V. V., et al. Food security in Astrakhan region: state, problems and prospects. Journal of International Economic Affairs. 2019. № 9 (2). Pp. 1189-1210.
7. Hu J., Wang J., Muhammad T. et al. Integrative Analysis of Metabolome and Transcriptome of Carotenoid Biosynthesis Reveals the Mechanism of Fruit Color Change in Tomato (Solanum lycopersicum). International Journal of Molecular Sciences. 2024. V. 25. Pp. 1-18.
8. Yang T., Ali M., Lin L., et al. Recoloring tomato fruit by CRISPR/Cas9-mediated multiplex gene editing. Horticulture Research. 2022. V. 10. Pp. 1-9.
9. Gerasimenko N. F., Poznyakovskiy V. M., Chelnokova N. G. Healthy eating and its role in ensuring the quality of life. Technologies of the food and processing industryof the agro-industrial complex – healthy food products. 2016. № 4. Pp. 52-57.
10. Baek M., Lee J., Yeo C., et al. Antioxidant profile, amino acids composition, and physicochemical characteristics of cherry tomatoes are associated with their color. Antioxidants. 2024. V. 13. Pp. 1-17.
11. Raza B., Hameed A., Saleem M. Fruit nutritional composition, antioxidant and biochemical profiling of diverse tomato (Solanum lycopersicum L.) genetic resource. Frontiers in Plant Science. 2022. V. 13. Pp. 1-35.
12. Kigashpaeva O. P., Gulin A. V. Promising tomato salad varieties for the South of Russia. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2022. № 2 (66). Pp. 101-110.

13. Zhang J., Liu S., Zhu X. et al. A comprehensive evaluation of tomato fruit quality and identification of volatile compounds. Plants. 2023. V. 12. Pp. 1-18.
14. Ali M., Sina A., Khandker S. et al. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: a review. Foods. 2020. V. 10. Pp. 1-31.
15. Gulin A. V., Kigashpaeva O. P., Kapanova R. H. et al. Results and prospects of the Astrakhan selection of vegetable and melon crops. Vegetable crops of Russia. 2021. № 5. Pp. 16-21.

Информация об авторах
Гулин Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИООБ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, 16), ORCID 0000-0001-6000-5311, e-mail: vniiob@mail.ru
Кигашпаева Ольга Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИООБ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, 16), ORCID 0000-0003-4578-6177, e-mail: vniiob@mail.ru
Джабраилова Вера Юрьевна, младший научный сотрудник, ВНИИООБ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, 16), e-mail: vniiob@mail.ru
Костенко Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ВНИИООБ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416341, Астраханская область, г. Камызяк, ул. Любича, 16), e-mail: vniiob@mail.ru

Authors' Information
Gulin Aleksandr Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – the Branch of the «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences» (Russian Federation, 416341, Astrakhan Region, Kamyzyak, Lyubicha Str., 16), ORCID 0000-0001-6000-5311, e-mail: vniiob@mail.ru
Kigashpaeva Olga Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – the Branch of the «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences» (Russian Federation, 416341, Astrakhan Region, Kamyzyak, Lyubicha Str., 16), ORCID 0000-0003-4578-6177, e-mail: vniiob@mail.ru
Dzhabrailova Vera Yuryevna, Junior Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – the Branch of the «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences» (Russian Federation, 416341, Astrakhan Region, Kamyzyak, Lyubicha Str., 16), e-mail: vniiob@mail.ru
Kostenko Aleksandr Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – the Branch of the «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences» (Russian Federation, 416341, Astrakhan Region, Kamyzyak, Lyubicha Str., 16), e-mail: vniiob@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-19

THE COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF THE GROWTH STIMULANTS USAGE IN THE COTTON DEVELOPMENT EARLY STAGES

Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S., Podkovyrov I. Y.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: calosoma.00@mail.ru

Received 19.03.2026 Submitted 02.06.2026

Summary
The use of zoo-humus in the early stages of cotton development has a positive effect: it improves plant survival rates, accelerates the passage of development phases, and increases plant productivity. These results suggest that zoo humus can be used as a growth stimulant in pre-sowing seed treatment. Subsequent mineral fertilization significantly increases cotton yields.

Abstract
Introduction. Cotton is one of the promising crops for cultivation in the dry-steppe zone of the Volgograd region. The purpose of our research was to determine the possibility of using zoo-humus as a growth stimulant in comparison with traditional synthetic preparations at the early stages of cotton development, and to include this technique in the technological scheme of crop production. We also studied the response of cotton to foliar fertilization with a complex mineral fertilizer. **Materials and methods.** A field experiment was designed and implemented to determine the effectiveness of pre-sowing seed treatment with a synthetic growth stimulant (epin – 0.02 % solution) and zoo-humus (5 % solution) in combination with foliar fertilization with a complex mineral fertilizer in the 2-4 and 6-8 true leaf phases. **Results and conclusions.** The use of stimulants in pre-sowing seed treatment resulted in earlier and more uniform cotton seedlings: 3 days with epin and 5 days with zoo-humus. In the variants with foliar fertilization at the pre-generative stages of cotton development, the accelerated passage of phases was maintained until the end of the growing season, and by the middle of the growing season, the phenological indicators had almost reached the same level as in the control variant, with a slight advance in the phases of development for the variant with the use of zoo-humus. The combined use of pre-sowing seed treatment and subsequent fertilization contributed to the preservation of the effect obtained at the early stages of crop development throughout the growing season. The best results were obtained when zoo-humus and two foliar applications of complex mineral fertilizer were used together. In this case, the increase in productivity was 178.5 %. Only the pre-

sowing treatment of cotton seeds resulted in a 47 % increase in yield, while the use of epin alone resulted in a 26.8 % increase, which is lower than the control option with foliar applications (40.9 %). These results suggest that zoo-humus can be used as a growth stimulant for pre-sowing seed treatment. Subsequent mineral fertilization significantly increases cotton productivity.

Keywords: *cotton, plant growth stimulants, cotton cultivation technologies, cotton plant development stages, mineral plant fertilizers.*

Citation. Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S., Podkovyrov I. Y. The comparative effectiveness of the growth stimulants usage in the cotton development early stages. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 179-187 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-19.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, and 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 631.811.98:633.511

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗВИТИЯ ХЛОПЧАТНИКА

Карпова Т. Л., *кандидат биологических наук, доцент*
Роменская О. Н., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
Семенова Е. С., *кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник*
Подковыров И. Ю., *доктор сельскохозяйственных наук*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Хлопок – одна из перспективных культур для возделывания в сухостепной зоне Волгоградской области. Цель наших исследований заключалась в определении возможности использования зоогумуса в качестве стимулятора роста в сравнении с традиционными синтетическими препаратами на ранних стадиях развития хлопчатника и включении этого приёма в технологическую схему производства культуры. Также изучалась отзывчивость хлопчатника на фолиарные подкормки комплексным минеральным удобрением. **Материалы и методы.** Разработана и реализована схема полевого эксперимента по определению эффективности предпосевной обработки семян синтетическим стимулятором роста (эпин – 0,02 % раствор) и зоогумусом (5 % раствор) в сочетании с фолиарными подкормками комплексным минеральным удобрением в фазы 2-4 и 6-8 настоящих листьев. **Результаты и выводы.** Применение стимуляторов при предпосевной обработке семян позволило получить более ранние и дружные всходы хлопчатника: при использовании эпина на 3 дня, зоогумуса – на 5. На вариантах с фолиарными подкормками на догенеративных стадиях развития хлопчатника ускоренное прохождение фаз сохранялось до конца вегетации; без минеральных подкормок к середине вегетации фенологические показатели практически сравнялись с контрольным вариантом, с незначительным опережением фаз развития для варианта с применением зоогумуса. Совместное применение предпосевной обработки семян и последующих подкормок способствовало сохранению эффекта, полученного на ранних сроках развития культуры, на протяжении всей вегетации. Лучшие результаты получены при совместном использовании зоогумуса и двух листовых подкормок комплексным минеральным удобрением. На этом варианте повышение продуктивности составило 178,5 %. Только предпосевная обработка семян хлопка позволила получить прибавку урожая в 47 %, использование только эпина – 26,8 %, что ниже контрольного варианта с фолиарными подкормками (40,9 %). Полученные результаты позволяют рекомендовать использование зоогумуса в качестве стимулятора роста при предпосевной обработке семян. Последующие минеральные подкормки существенно повышают продуктивность хлопка.

Ключевые слова: *хлопчатник, стимуляторы роста растений, технологии возделывания хлопчатника, стадии развития растений хлопчатника, минеральные подкормки растений.*

Цитирование. Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С., Подковыров И. Ю. Сравнительная эффективность применения стимуляторов роста на ранних стадиях развития хлопчатника. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 179-187. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-19.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Хлопок относится к техническим культурам, в основном он служит сырьем для текстильной и пищевой промышленности. Трудно переоценить экономическое значение этой культуры, которая заняла свою экономическую нишу, влияя на текстильное производство, различные сферы промышленности и в целом на мировую торговлю. Его производство и переработка обеспечивают работой миллионы людей в различных регионах мира.

Россия сегодня практически 100 % потребности в хлопке закрывает за счет импорта. Тем не менее возможность возделывания этой культуры в южных регионах нашей страны давно доказана: в последние годы выведены скороспелые сорта, не уступающие по качеству традиционным [1]. В довоенные годы хлопок в СССР возделывался, кроме республик Средней Азии, на территории Ставропольского и Краснодарского краев, в Калмыкии [2]. Также проводились исследования по возможности выращивания этой культуры в Нижнем Поволжье. Проведенные полевые испытания последних 15 лет свидетельствуют о перспективности развития хлопководства на юге России [1]. Поэтому представляет интерес разработка отдельных элементов технологии его выращивания в зависимости от зоны и сортовых особенностей. В частности, мало сведений имеется по применению биологически активных веществ [3].

Использование регуляторов роста позволяет координировать процессы функционирования растений [4] и получать ожидаемый положительный результат. Регуляторы роста могут как стимулировать развитие растения и активизацию его физиологических процессов, так и действовать противоположным образом, подавляя их. Биологически активные вещества широко используют в сельскохозяйственной практике, экспериментально доказана их роль в управлении процессами роста растений, цветения, плодоношения, а также созревания плодов [4]. В перечне пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории России, перечислены более 100 торговых наименований препаратов, относящихся к регуляторам роста, которые относятся к различным химическим классам, как природного, так и синтетического происхождения [5]. Многие из них используются в сельскохозяйственной практике не одно десятилетие, поэтому целесообразность приемов регулирования физиологических процессов растений не вызывает сомнений, что подтверждается исследованиями на различных сельскохозяйственных культурах. Стимуляторы роста применяются на разных фазах развития растений, различными способами в зависимости от поставленных задач по управлению физиологическими процессами культуры [6, 7, 8]. С развитием органического земледелия в нашей стране появился интерес к стимуляторам роста природного происхождения, использование которых не противоречило бы концепции этого направления ведения сельского хозяйства [9]. Таким требованиям отвечает зоогумус, получаемый при производстве насекомых на естественных кормах и все чаще привлекающий к себе внимание исследователей.

Материалы и методы. Исследования проведены в полевых условиях вегетационного сезона 2024-2025 гг. на опытном участке УНПЦ «Горная поляна» г. Волгограда. Объектом исследований в нашей работе служили стимуляторы роста при предпосевной обработке семян хлопчатника. Изучалась возможность использования зоогумуса в качестве стимулятора роста в сравнении с традиционными препаратами (эпин).

Эксперимент по определению эффективности стимуляторов роста при предпосевной обработке семян проводился в соответствии со схемой опыта, которая включает в себя следующие варианты:

1. Контроль без обработки.
2. Контроль без обработки + 2 фолиарные подкормки.
3. Обработка семян 0,02 % раствором эпина.
4. Обработка семян 0,02 % раствором эпина + 2 фолиарные подкормки.
5. Обработка семян 5 % раствором зоогумуса.
6. Обработка семян 5 % раствором зоогумуса + 2 фолиарные подкормки.

Прием замачивания семян различных растений перед посевом в растворах широко используется в агрономической практике. В нашем эксперименте семена замачивались при температуре 23 ^{o}C на 12 часов за сутки до посева в растворах биологически активных веществ, затем просушивались до сыпучего состояния.

В полевом опыте применяли зоогумус гусениц большой восковой моли (*Galleria mellonella*), которая получала в качестве корма пчелиные соты, предварительно обеззараженные при температуре 75-80 °С в течение суток. Состав зоогумуса представлен в таблице 1. Анализ проведен в сертифицированной лаборатории ФГБУ «Ростовский референтный центр Россельхознадзора» Волгоградского филиала.

Таблица 1 – Состав зоогумуса восковой моли
Table 1 – Wax moth zoo-humus composition

№ п/п	Наименование показателя / Indicator name	Единица измерения / Unit of measurement	Результат испытаний / Test result
1.	Общий азот / Total nitrogen	%	6,5
2.	Калий / Potassium	%	Выше верхнего предела измерений – 3,00 / Above the upper measurement limit – 3.00
3.	Медь / Copper	мг/кг /	13,6
4.	Цинк / Zinc	мг/кг /	78,1
5.	Общий фосфор / Total phosphorus	%	0,97
6.	Никель / Nickel	мг/кг	3,78
7.	Свинец / Lead	мг/кг	5,38
8.	Хром / Chromium	мг/кг	Выше верхнего предела измерений – 10,00 / Above the upper measurement limit – 10.00
9.	Зола общая / Total ash	%	Менее нижнего предела измерений – 5 / Below the lower measurement limit – 5
10.	Органическое вещество / Organic matter	%	48,1

Полевой эксперимент проводился на посевах хлопчатника обыкновенного *(Gossypium hirsutum*) сорта волгоградской селекции ПГССХ-1, выращиваемого по традиционной технологии. Кроме применения стимуляторов роста, на трех вариантах опыта применялись листовые подкормки комплексным удобрением Фертика листовое универсальное: первая в фазу 2-4 настоящих листьев, вторая – 6-8. Доза 1 подкормки составила 1,5 кг/га удобрения, расход воды 100 м^3.

Посев осуществлялся 12 мая, когда температура почвы достигла 14 °С, при более низких температурах возрастает риск повреждения корневыми гнилями, существенно увеличивается сроки прорастания. Также в это время среднесуточные значения температуры составили выше 12 °С (биологический минимум для хлопчатника) [10]. Норма высева – 90 тыс. растений на гектар.

Результаты и обсуждение. *Gossypium hirsutum* – хлопчатник обыкновенный (синонимы в русском языке – мексиканский и упланд). Этот вид наиболее часто выращивается во всем мире, особенно на американском континенте, в Средней Азии и Закавказье. Он отличается большей урожайностью и скороспелостью в сравнении с другими видами [11]. В настоящее время на него приходится до 90 % производства хлопка во всем мире.

Как и другие сельскохозяйственные культуры с относительно длинным периодом вегетации, высоким водопотреблением и применением различных пестицидов, хлопчатник оказывает существенное влияние на окружающую среду. Поэтому интеграция в технологию возделывания хлопчатника ресурсосберегающих, снижающих пестицидную и синтетическую нагрузку приемов все больше привлекает внимание исследователей и производителей.

В НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий в условиях резко континентального климата хлопчатник выращивается с 2015 года. За это время созданы новые перспективные сорта, разработана технология его выращивания, адаптированная к условиям Волгоградской области, изучаются биологические и экологические особенности культуры.

Наша работа была сосредоточена на возможности использования зоогумуса в качестве органического стимулятора роста хлопка.

В таблице 2 представлены результаты фенологических наблюдений хлопчатника по вариантам опыта.

Применение стимуляторов при предпосевной обработке семян позволило получить более ранние и дружные всходы хлопчатника: при использовании эпина на 3 дня, зоогумуса – на 5. На вариантах с фолиарными подкормками на догенеративных стадиях развития хлопчатника ускоренное прохождение фаз сохранялось до конца вегетации. Растения на вариантах без минеральных подкормок к середине вегетации по своим фенологическим

показателям практически сравнялись с контрольным вариантом. Незначительное опережение фаз развития отмечено для варианта с применением зоогумуса при предпосевной обработке семян.

Таблица 2 – Фенология хлопка
Table 2 – Cotton Phenology

Фаза / Phase	Дата / Date					
	Контроль / Control	Контроль + подкормки / Control + fertilizers	Эпин / Epin	Эпин + подкормки / Epin + fertilizers	Зоогумус / Zoo-humus	Зоогумус + подкормки / Zoo-humus + fertilizers
Посев / Sowing	12.05	12.05	12.05	12.05	12.05	12.05
Первые всходы / First sprouts	25.05	25.05	22.05	22.05	20.05	20.05
Массовые всходы / Mass sprouts	28.05	28.05	25.05	25.05	24.05	24.05
2-4 настоящих листа / 2-4 true leaves	10.06	10.06	06.06	06.06	04.06	04.06
6-8 настоящих листьев / 6-8 true leaves	18.06	18.06	16.06	16.06	15.06	15.06
Бутонизация / Budding	02.07	02.07	30.06	30.06	30.06	30.06
Начало цветения / Beginning of flowering	09.07	09.07	08.07	07.07	08.07	07.07
Цветение 50 % / 50 % flowering	12.08	12.08	12.08	10.08	08.08	05.08
Первые коробочки / First capsules	12.08	12.08	12.08	10.08	08.08	05.08
30 % растений имеют коробочки / 30 % of plants have capsules	26.08	26.08	26.08	20.08	24.08	17.08
Дружные коробочки, начало раскрывания / Dense capsules, beginning of opening	03.10	03.10	03.10	25.09	01.10	17.09
Массовое созревание / Mass ripening	6.11	06.11	06.11	30.10	03.11	03.10

Совместное применение предпосевной обработки семян и последующих подкормок способствовало сохранению эффекта, полученного на ранних сроках развития культуры на протяжении всей вегетации.

В таблице 3 представлена динамика созревания коробочек хлопчатника по вариантам опыта.

Таблица 3 – Морфобиологические показатели хлопчатника по вариантам опыта
Table 3 – Morphological indicators of cotton by experimental variants

Вариант / Variant	Дата / Date	Высота растений, см / Plant height, cm	Вес волокна 1 коробочки, г / Fiber weight of 1 capsule, g	Число продуктивных коробочек, шт./растение / Number of productive capsules per plant	
				раскрытых / open	зеленых / green
1	2	3	4	5	6
Контроль / Control	17.09	58,3	4,3	0	3,5
	03.10			0,1	5,1
	08.10			0,6	5,8
	30.10			0,8	3,5
	06.11			2,0	1,6
Контроль + 2 фолиарные подкормки / Control + 2 foliar fertilizers	17.09	61,3	4,6	0	2,7
	03.10			0,4	3,8
	08.10			0,7	3,3
	30.10			1,5	2,0
	06.11			1,1	0,9

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6
Эпин / Epin	17.09	62,1	4,3	0	3,8
	03.10			0,1	4,9
	08.10			0,5	5,7
	30.10			1,0	3,5
	06.11			1,5	1,0
Эпин + 2 фолиарные подкормки / Epin + 2 foliar fertilizers	17.09	66,9	4,8	0	3,8
	03.10			0,7	8,1
	08.10			0,3	7,2
	30.10			0,6	6,4
	06.11			5,3	1,2
Зоогумус / Zoo-humus	17.09	61,0	4,4	0,1	3,4
	03.10			0,1	6,1
	08.10			0,7	5,9
	30.10			0,9	3,2
	06.11			1,0	2,6
Зоогумус + 2 фолиарные подкормки / Zoo-humus + 2 foliar fertilizers	17.09	80,1	5,4	1,0	10,2
	03.10			1,6	8,6
	08.10			0,8	7,1
	30.10			1,4	5,3
	06.11			3,8	1

В результате фенологических наблюдений установлено, что сроки созревания коробочек существенно выше на вариантах с применением предпосевной обработки семян 5 % раствором зоогумуса.

Высота основного стебля хлопчатника по вариантам опыта составила от 58,3 см на контрольном варианте и до 80,1 на варианте с применением зоогумуса и минеральных подкормок. На других вариантах этот показатель существенно не отличался и составил от 61,3 до 66,9 см.

Средний вес волокна с одной коробочки составил от 4,3 г до 5,4 г. На вариантах без минеральных подкормок этот показатель существенно не отличался, лишь при использовании зоогумуса вес волокна с одной коробочки был выше на 0,1 г. Лучшие показатели (5,4 г) отмечены для шестого варианта: обработка семян 5 % раствором зоогумуса + 2 фолиарные подкормки.

В полевых условиях одно из главных условий повышения урожайности – сохранность числа растений на единицу площади [12]. Обработка семян стимуляторами роста оказала положительное влияние на сохранность растений к концу вегетации, что, в свою очередь, сказалось и на показателях урожайности (таблица 4). Следует отметить, что фолиарные подкормки по этому показателю были несколько выше, чем при использовании только эпина.

Таблица 4 – Урожайность хлопчатника по вариантам опыта, среднее за 2 года
Table 4 – Cotton yield by experiment variant, average for 2 years

Вариант / Option	Густота стояния, тыс./га / Stand density, thousand/ha	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Прибавка урожая / Yield increase	
			т/га / t/ha	%
Контроль / Control	82,1	1,49	-	-
Контроль + 2 фолиарные подкормки / Control + 2 foliar fertilizers	84,2	2,1	0,61	40,9
Эпин / Epin	83,9	1,89	0,4	26,8
Эпин + 2 фолиарные подкормки / Epin + 2 foliar fertilizers	88,2	2,73	1,24	83,2
Зоогумус / Zoo-humus	85,1	2,2	0,71	47,7
Зоогумус + 2 фолиарные подкормки / Zoo-humus + 2 foliar fertilizers	89,9	4,15	2,66	178,5
$НСР_{05}$	-	0,12	-	-

На всех вариантах опыта была получена прибавка урожая по сравнению с контрольным вариантом. Урожайность хлопка-сырца на варианте с применением зоогумуса и последующими фолиарными обработками была наиболее высокая и составила 4,15 т/га, что выше контрольного варианта на 178,5 %. Лучшая сохранность растений, более раннее созревание и лучшая реализация потенциала сорта в комплексе позволили получить такие высокие показатели, резко отличающиеся от остальных вариантов. Также эффективным оказался прием совместного использования обработки семян эпином и применением подкормок. Продуктивность здесь была выше контроля на 83,2 % и на 56,4 % выше, чем только с предпосевной обработкой семян.

На варианте без применения стимуляторов роста, но с фолиарными подкормками урожайность была выше не только контрольного варианта, но и с применением эпина без подкормок. Несколько лучше показатели продуктивности с применением зоогумуса, что объясняется его сбалансированным составом, характерным для органических удобрений (таблица 1), даже небольшая доза позволила получить прибавку урожая на 47,7 % по сравнению с контролем, в том числе и за счет лучшей сохранности растений.

На вариантах без дополнительных подкормок растения не смогли реализовать свой потенциал. Эффект, полученный на ранних сроках развития растений к середине вегетации был практически утрачен, что говорит о недостаточности применения только стимуляторов роста в технологии возделывания хлопчатника и важной роли сбалансированного применения удобрений на этой культуре.

Таблица 5 – Экономическая эффективность применения различных биологически активных веществ и подкормок при выращивании хлопка
Table 5 – Economic efficiency of using various biologically active substances and fertilizers in cotton cultivation

Показатель / Indicator	Вариант / Option					
	Контроль / Control	Контроль + 2 фолиарные подкормки / Control + 2 foliar fertilizers	Эпин / Epin /	Эпин + 2 фолиарные подкормки / Epin + 2 foliar fertilizers	Зоогумус / Zoo-gumus	Зоогумус + 2 фолиарные подкормки / Zoo-gumus + 2 foliar fertilizers
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	1,49	2,1	1,89	2,73	2,2	4,15
Прибавка урожая на 1 га, т / Yield increase per 1 ha, t	-	0,61	0,4	1,24	0,71	2,66
Производственные издержки на 1 га, руб. / Production costs per 1 ha, RUB	120827,0	139977,0	124927,0	145647,0	127717,0	151657,0
Себестоимость 1 т, руб. / Cost of 1 t,RUB	81091,95	66655,71	66098,94	53350,0	58053,18	36543,86
Цена реализации 1 т, руб. / Sale price of 1 t, RUB	105000,0	105000,0	105000,0	105000,0	105000,0	105000,0
Стоимость валовой продукции с 1 га, руб. / Gross output value per 1 ha,RUB	156450,0	220500,0	198450,0	286650,0	231000,0	435750,0
Расчетная прибыль, руб. на: / Estimated profit, RUB per:						
1 т / 1 t	23908,05	38344,29	38901,06	51649,45	46946,82	68456,14
1 га / 1 ha	35623,0	80523,0	73523,0	141003,0	103283,0	284093,0
Уровень рентабельности, % / Profit margin, %	29,5	57,5	58,9	96,8	80,8	187,7

Любой дополнительный прием в технологии возделывания сельскохозяйственной культуры должен иметь экономическую целесообразность. В таблице 5 представлены расчёты экономической эффективности по вариантам опыта. На всех вариантах, включая контрольный, удалось получить положительные показатели рентабельности. Наименьший

экономический эффект был получен на контрольном варианте без применения стимуляторов роста и подкормок. По уровню рентабельности близкие показатели получены на вариантах с использованием эпина (58,9 %) и контрольном с двумя фолиарными подкормками (57,5 %), что говорит о недостаточности применения в технологии возделывания хлопчатника только стимулятора роста. Использование зоогумуса без подкормок дало экономический эффект в 80,8 % рентабельности, эпина с подкормками – 96,8 %. Существенную прибыль удалось получить при использовании зоогумуса с последующими минеральными подкормками – 187,7 %, что резко выделяет этот комплексный прием среди других вариантов.

Заключение. Использование зоогумуса на ранних стадиях развития хлопка дает положительный эффект: отмечена лучшая сохранность растений, ускоренное прохождение фаз развития. Даже небольшие дозы позволяют заметно увеличить продуктивность растений, что подтверждает наши предыдущие исследования (Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С., 2024). Наилучшие результаты получены при совместном использовании зоогумуса и двух листовых подкормок комплексным минеральным удобрением. На этом варианте повышение продуктивности составило 178,5 %. Даже без применения последующих подкормок, предпосевная обработка семян хлопка позволила получить прибавку урожая в 47 %, использование только эпина – 26,8 %, что ниже контрольного варианта с фолиарными подкормками (40,9 %).

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование зоогумуса в качестве стимулятора роста при предпосевной обработке семян 5 % раствором. Последующие минеральные подкормки существенно повышают продуктивность хлопка. В этом случае удаётся достичь лучших экономических показателей. В нашем эксперименте рентабельность совместного использования зоогумуса с последующими листовыми подкормками составила 187,7 %.

Conclusions. The use of zoo-humus in the early stages of cotton development has a positive effect: plants are better preserved, and the phases of development are accelerated. Even small doses can significantly increase plant productivity, which confirms our previous research (Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S., 2024). The best results were achieved when zoo-humus was combined with two foliar applications of complex mineral fertilizer. In this case, productivity increased by 178.5 %. Even without the use of subsequent fertilizers, pre-sowing treatment of cotton seeds resulted in a 47 % increase in yield, while the use of epin alone resulted in a 26.8 % increase, which is lower than the control option with foliar fertilizers (40.9 %).

The obtained results allow us to recommend the use of zoo-humus as a growth stimulant during pre-sowing seed treatment with a 5 % solution. Subsequent mineral fertilization significantly increases cotton productivity. In this case, it is possible to achieve better economic indicators. In our experiment, the profitability of the combined use of zoo-humus with subsequent foliar fertilization was 187,7 %.

Библиографический список

1. Подковыров И. Ю., Ермак Д. Ю. Приемы формирования качества семян хлопчатника при выращивании на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2021. № 1 (61). 174-182.

2. Баймухаметова Э. А. хлопчатник: особенности культуры, перспективы создания трансгенных отечественных сортов и их выращивания в России. Биомика, 2016. Т. 8. № 3. С. 275-288.

3. Глинушкин А. П., Подковыров И. Ю., Свиридова Л. Л., Ермак Д. Ю., Лысенко Н. Н. Влияние удобрений и чеканки на распространённость болезней и семенную продуктивность хлопчатника в условиях каштановых почв. Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 83-87.

4. Иванова М. С. Применение стимуляторов роста при предпосевной обработке семян. Аграрное образование и наука. 2022. № 4.

5. Справочник пестицидов и агрохимикатов. 2025. www.agroxxi.ru

6. Филин В. И., Цепляев А. Н., Тибирьков А. П., Кузнецова Е. А. Влияние сополимеров на показатели качества почвы и растений при возделывании картофеля на орошении. Известия НВ АУК. 2024. № 1 (79). С. 63-70.

7. Гиченкова О. Г. и др. Эффективность различных систем защиты картофеля в технологии возделывания сортов с пигментированной мякотью. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 103-115.

8. Маликова П. С., Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А. Влияние досвечивания, стимуляторов роста и влажности в камере сращивания на корнеобразование привитой рассады. Орошаемое земледелие. 2023. № 4 (43). С. 16-19.

9. Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Якубовская А. И., Каменева И. А., Мещеряков Д. Д., Ситнов В. Ю. Влияние зоогумуса на продуктивность и жирнокислотный профиль мяты перечной (*Mentha piperita* L.). Садоводство и виноградарство. 2024. № 3. С. 21-30.

10. Овчинников А. С. и др. Влияние погоды на стабильность плодоношения хлопчатника в условиях Нижнего Поволжья. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар: КубГАУ, 2024. № 01 (195). С. 172-181. http://ej.kubagro.ru/2024/01/pdf/17.pdf

11. Basbag M., Cacan E., Sayar M. S., Karan H., Toncer Ö. Evaluation of some medicinal and aromatic plants in terms of forage quality. Journal of Turkish Agricultural Research. 2018. № 5 (3). Pp. 246-252.

12. Тибирьков А. П., Тибирькова Н. Н., Беленков А. И., Юдаев И. В., Шарифов А. А. Воздействие различных доз минеральных удобрений на период вегетации моркови в условиях каштановых почв Нижневолжского региона. Journal of Agriculture and Environment. 2025. № 1 (53).

References

1. Podkovirov I. Yu., Ermak D. Yu. Methods of forming the quality of cotton seeds when growing on light chestnut soils of the Volgograd region. Proceedings of the NV AUC. 2021. No 1 (61). Pp. 174-182.
2. Baimukhametova E. A. Cotton: Features of the Crop, Prospects for Creating Transgenic Domestic Varieties and Growing Them in Russia. Biomika. 2016. V. 8. No. 3. Pp. 275-288.
3. Glinushkin A. P., Podkovirov I. Yu., Sviridova L. L., Ermak D. Yu., Lysenko N. N. Influence of fertilizers and staking on the prevalence of diseases and seed productivity of cotton in chestnut soils. Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex. 2022. V. 36. No 4. Pp. 83-87
4. Ivanova M. S. Application of growth stimulants in pre-sowing seed treatment. Agrarian Education and Science. 2022. No 4.
5. Handbook of Pesticides and Agrochemicals. 2025. www.agroxxi.ru
6. Filin V. I., Tseplyaev A. N., Tibirkov A. P., Kuznetsova E. A. Influence of Copolymers on Soil and Plant Quality Indicators in Irrigated Potato Cultivation. Proceedings of the NV AUC. 2024. No 1 (79). Pp. 63-70.
7. Gichenkova O. G. et al. The effectiveness of various potato protection systems in the cultivation technology of varieties with pigmented flesh. Proceedings of the NV Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 4 (76). Pp. 103-115.
8. Malikova P. S., Gichenkova O. G., Laptina Yu. A. Influence of supplementary lighting, growth stimulants, and humidity in the grafting chamber on root formation in grafted seedlings. Irrigated Agriculture. 2023. No 4 (43). Pp. 16-19.
9. Pukhal'skiy Ya. V., Loskutov S. I., Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A., Meshcheryakov D. D., Sitnov V. Yu. The effect of zoo-humus on the productivity and fatty acid profile of peppermint (Mentha piperita L.). Horticulture and Viticulture. 2024. No 3. Pp. 21-30.
10. Ovchinnikov A. S. et al. The Influence of Weather on the Stability of Cotton Fruiting in the Lower Volga Region. Polythematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubSAU). Krasnodar: KubSAU, 2024. No 01 (195). Pp. 172-181. http://ej.kubagro.ru/2024/01/pdf/17.pdf
11. Basbag M., Cacan E., Sayar M. S., Karan H., Toncer Ö. Evaluation of some medicinal and aromatic plants in terms of forage quality. Journal of Turkish Agricultural Research. 2018. № 5 (3). Pp. 246-252.
12. Tibirkov A. P., Tibirkova N. N., Belenkov A. I., Yudaev I. V., Sharifov A. A. The Effect of Different Doses of Mineral Fertilizers on the Vegetation Period of Carrots in the Chestnut Soils of the Lower Volga Region. Journal of Agriculture and Environment. 2025. No 1 (53).

Информация об авторах

Карпова Татьяна Леонидовна, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: calosoma.00@mail.ru
Роменская Ольга Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: o romenskaya88@mail.ru
Семенова Екатерина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru
Подковыров Игорь Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т. Университетский, 26), e-mail: parmelia@mail.ru

Authors' Information

Karpova Tatyana Leonidovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: calosoma.00@mail.ru
Romenskaya Olga Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: o_romenskaya88@mail.ru
Semenova Ekaterina Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: kati.semenova@mail.ru
Podkovyrov Igor Yurievich, Doctor of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: parmelia@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-20

THE CLOSED IRRIGATION SYSTEMS AS THE FACTOR IN THE DRY STEPPE BIOLOGICAL DIVERSITY PRESERVING USING THE VOLGOGRAD REGION LOCAL AGRICULTURAL LANDSCAPE AS THE EXAMPLE

Komarov E. V., Komarova O. P.

All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture VNIIOZ Branch of VNIIGiM
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: komarova62@rambler.ru

Received 10.04.2026 Submitted 15.06.2026

The studies were performed within the scope of research 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 article is devoted to the study of the possibilities of preserving and restoring the biodiversity of entomological complexes of zonal steppe areas in the structure of an irrigated agricultural landscape when switching from open irrigation systems to closed ones with a significant reduction in technological and emergency water discharges from open canals using modern irrigation techniques. It is shown that after 30 years, this ensured the restoration of the characteristic state of zonal steppe areas adjacent to irrigated fields.

Abstract

Introduction. In the Right Bank of the Volgograd Region, the preserved areas of natural feather grass-cereal steppe are extremely fragmented and, mainly, are confined to the slope lands that are inconvenient for plowing, therefore, the task of preserving steppe ecosystems and their biodiversity is extremely relevant for the region and Russia as a whole, as the prevention of further degradation of zonal steppes, which have not only economic, but also biosphere and environmental significance, depends on its successful solution. **Object.** Communities of ground beetles in irrigated agricultural landscapes. **Materials and methods.** The studies were conducted from 1979 to 2025 at the Irrigated Experimental Station in the Volgograd Region. The structural characteristics of ground beetle communities (Coleoptera, Carabidae) were used as a biological indicator to assess changes in the natural steppe areas adjacent to irrigated fields. Ground beetles were collected using soil traps. The collections were conducted every 7-10 days from April to October. **Results and conclusion.** More than 40,000 specimens of ground beetles belonging to 125 species from 40 genera of the family were counted and identified in the steppe areas adjacent to the fields. The main core of the ground beetle community (>1 % of the total abundance) included 21 species. It has been established that in the 30 years since the transition to a closed irrigation system in 1989-1992, the proportion of mesoxerophilic species in its structure has almost tripled (from 21.0 to 62.0 %), while the abundance of mesophiles and eurybionts has decreased, and the abundance of typically steppe species in its biotope structure has significantly increased (from 34.2 to 50.0 %), and it included previously undetected inhabitants of desert-steppe communities (2.6 %). At the same time, the abundance of meadow-steppe species decreased (from 34.0 to 9.3 %), and the meadow-field species characteristic of cultivated lands were almost eliminated from the community base (0.9 %). The transition to a closed irrigation system, with a significant reduction in technological and emergency water discharges from open canals, and the use of modern irrigation techniques that ensure watering without surface runoff, has had a significant impact on the condition of the steppe areas adjacent to the irrigated area. As a result, the composition and structure of the ground beetle community's characteristic of the region's zonal steppes have been restored.

Keywords: *irrigation systems, steppe ecosystems, ground beetle populations, ground beetles, the steppes preservation.*

Citation. Komarov E. V., Komarova O. P. The closed irrigation systems as the factor in the dry steppe biological diversity preserving using the Volgograd region local agricultural landscape as the example. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 187-194 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-20.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.67+595.762.12

ЗАКРЫТЫЕ ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КАК ФАКТОР СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ СУХОЙ СТЕПИ НА ПРИМЕРЕ ЛОКАЛЬНОГО АГРОЛАНДШАФТА В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Комаров Е. В., *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник*
Комарова О. П., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*

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

Исследования выполнены в рамках тематики НИР 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 Правобережье Волгоградской области сохранившиеся участки естественной ковыльно-злаковой степи крайне фрагментированы и в основном приурочены к неудобным для распашки склоновым землям, поэтому задача сохранения степных экосистем и их биоразнообразия крайне актуальна для региона и России в целом, так как от ее успешного решения зависит предотвращение дальнейшей деградации зональных степей, имеющих не только хозяйственное, но и биосферное и природоохранное значение. **Объект исследований** – сообщества жужелиц орошаемых агроландшафтов. **Материалы и методы.** Исследования проведены на протяжении 1979-2025 гг. на территории Опытной станции «Орошаемая» в Волгоградской области. В качестве биологического индикатора для оценки изменений состояния прилегающих к орошаемым полям участков естественной зональной степи использовали структурные характеристики сообществ жужелиц (Coleoptera, Carabidae). Для учетов жужелиц применяли вылов почвенными ловушками. Учеты проводили каждые 7-10 дней с апреля по октябрь. **Результаты и выводы.** На прилегающих к полям плакорном и склоновом участках степи учтено и определено более 40 тыс. экземпляров жужелиц, относящихся к

125 видам из 40 родов семейства. В состав основного ядра сообщества жужелиц (> 1 % от суммарного обилия) входил 21 вид. Установлено, что за 30 лет, с момента перехода к закрытой оросительной системе в 1989-1992 гг., в его структуре практически втрое (с 21,0 до 62,0 %) увеличилась доля мезоксерофильных видов при сокращении обилия мезофилов и эврибионтов, а в его биотопической структуре значительно увеличилось обилие типично степных видов (от 34,2 до 50,0 %), и в нее вошли ранее не отмечавшиеся обитатели пустынно-степных сообществ (2,6 %). При этом сократилось обилие лугово-степных видов (с 34,0 до 9,3 %), а характерные для обрабатываемых земель лугово-полевые виды практически элиминированы из основы сообщества (0,9 %). Переход к закрытой оросительной системе со значительным уменьшением технологических и аварийных сбросов воды из открытых каналов с использованием современной техники орошения, обеспечивающей полив без образования поверхностного стока, оказал существенное воздействие на состояние прилегающих к орошаемому массиву участков степи, в результате которого были восстановлены характерные для зональных степей региона состав и структура сообществ жужелиц.

Ключевые слова: *оросительные системы, степные экосистемы, популяции жужелиц, жужелицы, сохранение степей.*

Цитирование. Комаров Е. В., Комарова О. П. Закрытые оросительные системы как фактор сохранения биоразнообразия сухой степи на примере локального агроландшафта в Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 187-194. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-20.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие орошения в степной зоне Юго-Востока европейской части России является необходимым элементом для обеспечения высокой продуктивности пахотных земель этого региона и приобретает все большее значение на фоне наблюдаемой здесь аридизации климата [1]. В то же время существующие и вновь создаваемые оросительные системы оказывают значительное влияние на сохранившиеся участки естественных степных экосистем, непосредственно прилегающие к орошаемым землям, воздействуя на аборигенную степную флору и фауну, и могут вызывать существенные изменения в их составе и структуре. В условиях тотальной распашки степей в России вопросы сохранения степных экосистем и их биоразнообразия крайне актуальны и от их успешного решения зависит предотвращение дальнейшей деградации степных территорий, имеющих не только хозяйственное, но и биосферное и природоохранное значение [2, 3, 4].

На территории Правобережья Волгоградской области сохранившиеся участки естественной степи крайне фрагментированы и, как правило, приурочены к неудобным для распашки склоновым землям – овражно-балочной сети и долинам рек. При этом существовавшие здесь до конца XX века оросительные системы, использовавшие открытые каналы для полива дождевальными машинами ДДА, предусматривали сброс избыточной поливной воды в расположенные вблизи орошаемых массивов понижения рельефа, которыми служили, главным образом, степные балки. Как следствие этого, происходила трансформация прибалочных плакорных и склоновых фрагментов типичной для зоны ковыльно-злаковой степи с изменением состава и структуры растительности и свойственного ей животного населения.

В настоящей статье на примере локального орошаемого агроландшафта на территории Волгоградской области авторами рассматриваются многолетние изменения в составе и структуре степных сообществ напочвенных жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera), произошедшие в результате перехода от использования открытых оросителей к закрытой оросительной системе и прекращения сброса излишней оросительной воды в прилегающую степную балку.

Известно, что среди жесткокрылых напочвенного яруса (герпетобионтов) наиболее репрезентативными биологическими индикаторами состояния как антропогенных, так и природных экосистем являются жужелицы (Carabidae), виды которых способны быстро реагировать на происходящие изменения в экосистемах и их направленность [5, 6]. Поэтому для оценки изменений состояния элементов агроландшафта авторами анализируются изменения состава и структуры сообществ видов этого семейства в динамике за период с 1979 по 2025 гг., произошедшие в результате перехода от открытой к закрытой оросительной системе в 1989-1992 годах.

Материалы и методы. Учеты жужелиц проводили в агроландшафте общей площадью 550 га, включающем орошаемые и неорошаемые поля, лесополосы и прилегающие плакорные и склоновые участки степи. Агроландшафт расположен на юго-западной оконечности Приволжской возвышенности на землях Опытной станции «Орошаемая» (до 2022 г. – ОПХ «Орошаемое») Всероссийского НИИ орошаемого земледелия в Волгоградской области. Почвы агроландшафта светло-каштановые, типичные для сухостепной зоны Юго-Востока европейской части России. Исследования выполняли сравнимыми методами на протяжении периодов 1979-1982, 1989-2001 и 2018-2025 гг. в одних и тех же элементах агроландшафта (рисунок 1).



Рисунок 1 – Расположение локального агроландшафта ОС «Орошаемая»
(48°36'30.35"С, 44°12'31.33"В, космоснимок от 25.09.2025 г.)
Figure 1 – Location of the local agricultural landscape of experimental station "Oroshaemaya"
(48° 36' 30.35" C, 44° 12' 31.33" B, space image from 25.09.2025)
○ – места расположения линий почвенных ловушек / locations of soil trap lines

Использовался общепринятый при изучении напочвенных жесткокрылых метод вылова почвенными ловушками (ловушки Барбера)[2], в качестве которых использовали 0,5 л стеклянные банки с 4 %-ным раствором формалина (1979-1982 гг.) и 0,5 л пластиковые стаканы с 4 %-ным раствором уксусной кислоты (1989-2025 гг.). Ловушки устанавливали линиями по 5-10 шт. в основных элементах агроландшафта – на орошаемых и неорошаемых полях с посевами сельскохозяйственных культур, в полезащитной лесополосе, плакорном участке степи, степном склоне балки Западная и в ее тальвеге. Выемку насекомых из ловушек проводили каждые 7-10 дней с апреля по октябрь на необрабатываемых землях и от посева до уборки культуры – на полях. Относительное обилие видов выражали в количестве экземпляров на 10 ловушко-суток (экз./10 л.-с.). При оценке структурных характеристик сообществ жужелиц применяли следующие критерии: более 5 % от общего обилия – доминанты, 2-5 % – субдоминанты, 1-2 % – постоянные, менее 1 % – редкие виды. Виды, встречавшиеся не ежегодно и отдельными особями, приводятся как единичные. Экологическую характеристику отдельных видов и их распределение по биотопическим группам принимали как по литературным данным, так и на основе собственных наблюдений в регионе.

[2] Количественные методы в почвенной зоологии / Бызова Ю. Б., Гиляров М. С., Дунгер В. и др.; отв. ред. М. С. Гиляров, Б. Р. Стриганова ; АН СССР, Ин-т эволюц. морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова. Москва : Наука, 1987. 287 с.

Результаты и обсуждение. За все периоды проведения исследований в изучаемых элементах агроландшафта почвенными ловушками было учтено и определено более 110 тыс. экземпляров жужелиц, относящихся к 174 видам из 47 родов этого семейства. Непосредственно на прилегающих к полям плакорном и склоновом участках степи было учтено свыше 40 тыс. экземпляров, относящихся к 125 видам из 40 родов, из них в состав основного ядра сообщества жужелиц с долей участия более 1 % от суммарного обилия входил 21 вид (таблица 1).

Таблица 1 – Состав и эколого-биотопические характеристики видов основного ядра сообщества жужелиц в степных элементах агроландшафта по периодам наблюдений
Table 1 – Composition and ecological-biotopic characteristics of the main core species of the ground beetle community in the steppe elements of the agrolandscape by observation periods

Виды / Types	Биотопическая характеристика / Biotopic characteristics	Экологическая характеристика / Environmental characteristics	Период наблюдений / Observation period		
			1979-1982	1991-2001	2018-2025
Carabus bessarabicus Fisch., 1823	с / s	мк / mx	–	+	п / p
C. hungaricus F., 1792	с / s	мк / mx	+	д / d	д / d
Poecilus punctulatus (Schaller, 1783)	с / s	мк / mx	п / p	сд / sd	сд / sd
P. koyi Fisch., 1823	с / s	мк / mx	п / p	п / p	п / p
Calathus ambiguus (Payk., 1790)	лп / mf	мк / mx	д / d	д / d	д / d
Dolichus halensis (Schall., 1783)	лп / mf	м / m	–	п / p	–
Pseudotaphoxenus rufitarsis (Fisch., 1823)	с / s	мк / mx	п / p	п / p	п / p
Taphoxenus gigas (Fisch., 1823)	с / s	мк / mx	+	п / p	п / p
Curtonotus desertus Kryn., 1866	с / s	мк / mx	–	–	п / p
Zabrus spinipes (Fabr., 1798)	с / s	м / m	–	п / p	сд / sd
Harpalus anxius (Duft., 1812)	лс / ms	м / m	сд / sd	–	p / r
H. calathoides Motsch., 1844	лс / ms	м / m	д / d	–	+
H. distinguendus (Duft., 1812)	лс / ms	э / e	д / d	+	p / r
H. pumilus Sturm, 1818	с / s	мк / mx	+	–	п / p
*H. rufipes (*Deg., 1774)	лп / mf	э / e	–	д / d	–
H. smaragdinus (Duft., 1812)	лп / mf	э / e	сд / sd	+	+
Acinopus laevigatus Men., 1832	пс / ds	мк / mx	–	–	сд / sd
Dixus eremita (Dej., 1825)	с / s	мк / mx	–	–	п / p
Cymindis axillaris Fabricius, 1794	с / s	мк / mx	–	–	п / p
C. lineata (Quens., 1806)	с / s	мк / mx	–	+	п / p
C. miliaris (F., 1794)	лс / ms	м / m	–	п / p	–

Условные обозначения: «д» – доминантный вид, «сд» – субдоминантный вид, «п» – постоянный вид, «р» – редкий вид, «+» – единичный вид, «–» – вид не отмечен; «пс» – пустынно-степной, «с» – степной, «лс» – лугово-степной, «лп» – лугово–полевой, «м» – мезофил, «мк» – мезоксерофил, «э» – эврибионт.
Symbols: "d" – dominant species, "sd" – subdominant species, "p" – permanent species, "r" – rare species, "+" – single species, "-" – species not recorded; "ds" – desert-steppe, "s" – steppe, "ms" – meadow-steppe, "mf" – meadow-field, "m" – mesophile, "mx" – mesoxerophile, "e" – eurybiont.

Ранее нами были рассмотрены изменения состава и структуры сообществ жужелиц на обрабатываемых полях этого агроландшафта с 1979 по 2022 год [7, 8]. Установлено, что ликвидация постоянных оросительных каналов и переход к закрытой оросительной системе существенно сократили разнообразие микростаций с широким спектром условий на полях, что привело здесь к смене состава доминантных и субдоминантных видов, сокращению доли мезофилов и полному исчезновению мезогигрофильных и гигрофильных видов.

Анализ сообществ жужелиц в прилегающих к орошаемым полям степных биотопах показал, что с изменением системы орошения и прекращением сброса излишков оросительной воды в тальвег балки Западная в их составе и структуре также произошли значительные перестройки. С 1979 по 2025 год в составе их основного ядра практически втрое увеличилась доля характерных для зональных сухих степей региона мезоксерофильных

видов при значительном сокращении обилия мезофильных и эврибионтных видов, преобладавших в сообществах на обрабатываемых полях и заселяющих в регионе преимущественно интразональные и антропогенно нарушенные местообитания (рисунок 2).

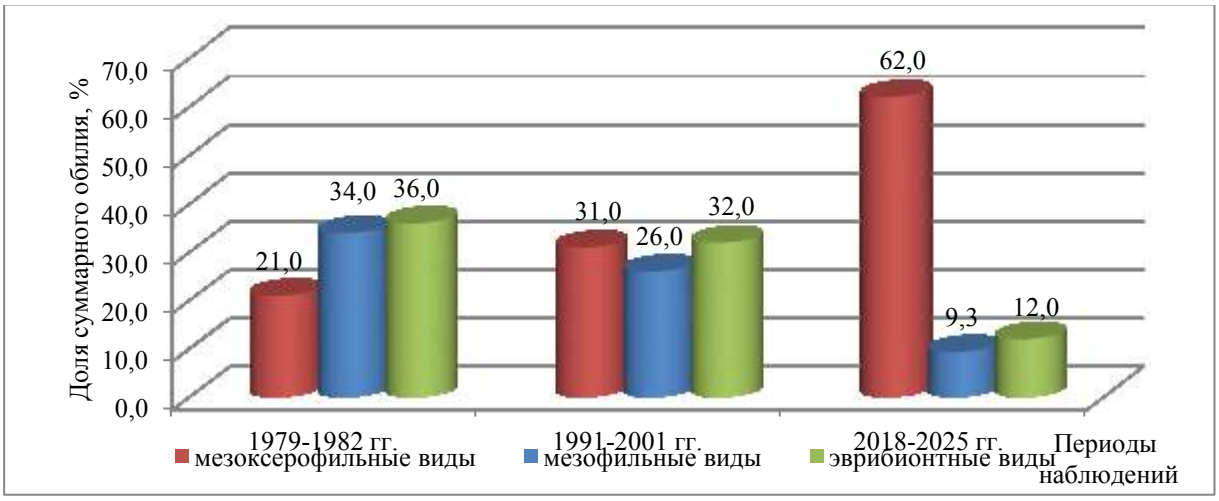


Рисунок 2 – Экологическая структура сообществ жужелиц в степных элементах агроландшафта по периодам наблюдений
Figure 2 – Ecological structure of ground beetle communities in steppe elements of the agrolandscape by observation periods

Аналогичные изменения наблюдались в биотопической структуре основного ядра сообществ жужелиц степных местообитаний. С начала XXI века здесь втрое увеличилось обилие типично степных видов, и в его состав вошли ранее не отмечавшиеся обитатели пустынно-степных сообществ. При этом значительно сократилось обилие лугово-степных видов, а характерные для обрабатываемых земель широко распространенные лугово-полевые виды в 2018-2025 гг. практически элиминированы из основы сообщества. Таким образом, его структура приобрела характерные для зональных сухих степей черты (рисунок 3).

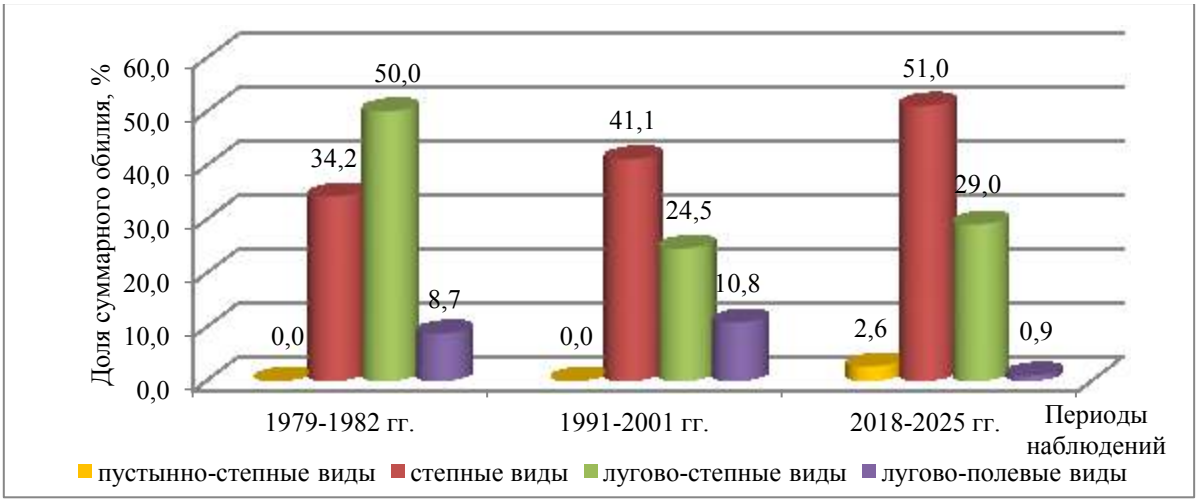


Рисунок 3 – Биотопическая структура сообществ жужелиц в степных элементах агроландшафта по периодам наблюдений
Figure 3 – Biotopic structure of ground beetle communities in steppe elements of the agrolandscape by observation periods

Показательны фаунистические изменения в составе сообщества жужелиц в целом. С переходом к закрытой оросительной системе и прекращением сброса излишков воды в тальвег балки с конца 90-х годов в степных местообитаниях агроландшафта многократно увеличилась численность жужелицы венгерской (*Carabus hungaricus*) – характерного обитателя целинных степей и занесенного в Красную книгу РФ и красные книги всех субъектов

ЮФО, что было показано нами ранее [9]. Постоянными в сообществе стали такие типично степные виды, как жужелица бессарабская (*Carabus bessarabicus*), не отмечавшаяся здесь в 1979-1982 гг., *Pseudotaphoxenus rufitarsis*, *Taphoxenus gigas*, *Amara taurica* (Motsch., 1844), *A. equestris* (Duft., 1812), *Curtonotus desertus*, *Harpalus pumilus*, *Acinopus laevigatus*, *Dixus eremita*, *Cymindis axillaris*, *C. lineata*. Необходимо также отметить появление в его составе в последние десятилетия обитателей опустыненных степей *Acinopus Istriolatus* Zoubkoff, 1833, *Ditomus calydonius* (P. Rossi, 1790) и *Cymindis decora* Fisch., 1829, ранее известных с территорий Астраханской области и Республики Калмыкия [10], что, по нашему мнению, связано с аридизацией климата в регионе [11, 12, 13].

Заключение. Многолетние наблюдения за изменениями состава и структуры сообществ жужелиц в локальном орошаемом агроландшафте до и после перехода от открытой к закрытой оросительной системе со значительным уменьшением технологических и аварийных сбросов воды из открытых каналов с использованием современной техники орошения, обеспечивающей полив без образования поверхностного стока, показывают, что через 30 лет это обеспечило восстановление характерного состояния участков зональной степи, прилегающих непосредственно к орошаемым полям. Таким образом, строительство и использование закрытых оросительных систем в степной зоне имеет важное значение для предотвращения дальнейшей деградации степных экосистем и сохранения их биоразнообразия.

Conclusions. Long-term observations of changes in the composition and structure of ground beetle communities in a local irrigated agricultural landscape before and after the transition from an open to a closed irrigation system with a significant reduction in technological and emergency water discharges from open canals using modern irrigation techniques that ensure watering without surface runoff, show that after 30 years, this has led to the restoration of the characteristic state of the zonal steppe areas adjacent to the irrigated fields. Therefore, the construction and use of closed irrigation systems in the steppe zone is essential for preventing further degradation of steppe ecosystems and preserving their biodiversity.

Библиографический список

1. Корнеева Е. А. Оценка экологического ущерба от опустынивания аридных территорий на юге европейской территории России. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 70-76.

2. Левыкин С. В., Чибилёв А. А., Кочуров Б. И., Казачков Г. В. К стратегии сохранения и восстановления степей и управления природопользованием на постцелинном пространстве. Известия РАН. Серия географическая. 2020. Т. 84. № 4. С. 626-636.

3. Лапенко Н. Г., Хонина О. В., Старостина М. А. Обзор вопросов сохранения степных экосистем. Аграрная наука. 2024. № 12. С. 117-124.

4. Тишков А. А. Территориальная охрана биоразнообразия степной зоны. Степи Северной Евразии: материалы IV международного симпозиума. Оренбург: ИПК “Газпромпечать” ООО “Оренбурггазпромсервис”, 2006. С. 707-711.

5. Koivula M. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. ZooKeys. 2011. V. 100. Pp. 287-317.

6. Мордкович В. Г., Дудко Р. Ю., Худяев С. А., Любечанский И. И. Изменения сообществ жуков жужелиц и чернотелок (Coleoptera: Carabidae, Tenebrionidae) в горных котловинах Тувы и Алтая за 60 лет: тренд или флуктуации? Сибирский экологический журнал. 2022. № 6. С. 621-638.

7. Комаров Е. В., Комарова О. П. Особенности распределения энтомофауны герпетобия в орошаемом агроландшафте по итогам многолетнего мониторинга. Орошаемое земледелие. 2024. № 4 (47). С. 28-33.

8. Комаров Е. В. Многолетние изменения состава и структуры сообществ жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в агроландшафте с длительным орошением на светло-каштановых солонцовых почвах Нижнего Поволжья. Энтомологическое обозрение. 2026. Т. 105. № 1. С. 5-27.

9. Komarov E. V. On the Distribution, Biotopic Preferences, Phenology and Population Dynamics of *Carabus hungaricus* Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae) in Volgograd Province in the Last 40 Years. Entomological Review. 2022. V. 102. No 4. Pp. 469-478.

10. Комаров Е. В. Новые данные о фауне и распространении жесткокрылых насекомых (Coleoptera) в Нижнем Поволжье и на Среднем Дону. Кавказский энтомологический бюллетень. 2020. № 16 (1). С. 35-38.

11. Шумова Н. А. Климатические факторы современного гидроморфизма на юге России (на примере Волгоградской области). Природные и антропогенные изменения аридных экосистем и борьба с опустыниванием: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Махачкала: АЛЕФ, 2016. С. 136-140.

12. Калинин П. И., Кудреватых И. Ю., Митенко Г. В. Влияние аридизации климата на биогеохимические свойства степных ландшафтов. Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: материалы XIV Международной ландшафтной конференции. Воронеж, 2023. Т. 1. С. 321-322.

13. Мусолин Д. Л., Саулич А. Х. Изменения естественных ареалов насекомых в условиях современного потепления климата. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии (Труды IV Чтений памяти О. А. Катаева). 2011. Вып. 196. С. 246-254.

References

1. Korneeva E. A. Assessment of the environmental damage from desertification of arid territories in the south of the European territory of Russia. Arid ecosystems. 2023. V. 29. No 1 (94). Pp. 70-76.

2. Levykin S. V., Chibilyov A. A., Kochurov B. I., Kazachkov G. V. To the strategy of preservation and restoration of steppes and management of nature use in the post-targeted space. News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series. 2020. V. 84. No 4. Pp. 626-636.

3. Lapenko N. G., Khonina O. V., and Starostina M. A. Review of Issues Related to the Preservation of Steppe Ecosystems. Agricultural Science. 2024. No 12. Pp. 117-124.

4. Tishkov A. A. Territorial protection of the steppe zone biodiversity. Steppes of Northern Eurasia: materials of the IV International Symposium. Orenburg: IPK Gazprompechat LLC Orenburggazpromservice, 2006. Pp. 707-711.

5. Koivula M. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. ZooKeys. 2011. V. 100. Pp. 287-317.

6. Mordkovich V. G., Dudko R. Yu., Khudyaev S. A., Lyubechansky I. I. Changes in the communities of ground beetles and darkling beetles (Coleoptera: Carabidae, Tenebrionidae) in the mountain basins of Tuva and Altai over 60 years: trend or fluctuations? Siberian Ecological Journal. 2022. No 6. Pp. 621-638.

7. Komarov E. V., Komarova O. P. Features of the distribution of entomofauna herpetobia in an irrigated agro-landscape based on the results of long-term monitoring. Irrigated Agriculture. 2024. No 4 (47). Pp. 28-33.

8. Komarov E. V. Long-term changes in the composition and structure of ground beetle communities (Coleoptera, Carabidae) in an agro-landscape with long-term irrigation on light chestnut saline soils of the Lower Volga region. Entomological Review. 2026. Vol. 105. No 1. Pp. 5-27.

9. Komarov E. V. On the Distribution, Biotopic Preferences, Phenology and Population Dynamics of *Carabus hungaricus* Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae) in Volgograd Province in the Last 40 Years. Entomological Review. 2022. V. 102. No 4. Pp. 469-478.

10. Komarov E. V. New data on the fauna and distribution of Coleoptera in the Lower Volga region and the Middle Don. Caucasian Entomological Bulletin. 2020. V. 16 (1). Pp. 35-38.

11. Shumova N. A. Climatic Factors of Modern Hydromorphism in the South of Russia (on the Example of the Volgograd Region). Natural and Anthropogenic Changes in Arid Ecosystems and the Fight Against Desertification: collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Makhachkala: ALEF, 2016. Pp. 136-140.

12. Kalinin P. I., Kudrevatykh I. Yu., Mitenko G. V. The Influence of Climate Aridization on the Biogeochemical Properties of Steppe Landscapes. Theoretical and Applied Problems of Landscape Geography. VII Mil'kov Readings: materials of the XIV International Landscape Conference. Voronezh, 2023. V. 1. Pp. 321-322.

13. Musolin D. L., Saulich A. Kh. Changes in the Natural Habitats of Insects in the Context of Modern Climate Warming. News of the St. Petersburg Forestry Academy (Proceedings of the IV Readings in Memory of O. A. Kataev). 2011. Issue 196. Pp. 246-254.

Информация об авторах

Комаров Евгений Владимирович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), ORCID: 0000-0002-8642-7923, e-mail: evkomarov@rambler.ru

Комарова Ольга Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), ORCID: 0000-0001-9129-6932, e-mail: komarova62@rambler.ru

Authors' Information

Komarov Evgeny Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, VNIIOZ – the Branch of the VNIIGiM (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: 0000-0002-8642-7923, e-mail: evkomarov@rambler.ru

Komarova Olga Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, VNIIOZ – the Branch of the VNIIGiM (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: 0000-0001-9129-6932, e-mail: komarova62@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-21

THE AGRICULTURAL AND CLIMATIC RESOURCES CONTEMPORARY CHANGES IN THE KALMYKIA REPUBLIC NATURAL AND AGRICULTURAL ZONES

[1]Konieva G. N., [2]Batyrov V. A., [3]Petrov N. Yu., [2]Salaev B. K.

[1]Kalmyk Branch of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Elista, Russian Federation
[2]B. B. Gorodovikov Kalmyk State University
Elista, Russian Federation
[3]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: konieva.g@yandex.ru, vladimir-ba@mail.ru

Received 15.03.2026 Submitted 27.05.2026

This work was completed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 075-03-2026-375) "Characteristics and Conditions of Adaptation of the Agrarian Periphery to Environmental Changes".

Abstract

Introduction. Using data from five meteorological stations in the Republic of Kalmykia over long-term periods, trends in air temperature, precipitation and hydrothermal conditions, expressed by the Selyaninov hydrothermal coefficient were analyzed. A significant upward trend in average annual air temperature was

identified for all meteorological stations. The annual precipitation showed a significant upward trend only at the Gorodovikovsk (22.1 mm/year/10 years) and Elista (10.1 mm/year/10 years) weather stations, while the trend at the Yashkul and Lagan weather stations was 4.5-9.6 mm/year/10 years. A decrease in precipitation was noted only at the Malye Derbety weather station and amounted to – 9.9 mm/year/10 years. Against the background of an intensive increase in temperatures, a downward trend in the Selyaninov hydrothermal coefficient was noted for the Malye Derbety, Yashkul, and Lagan weather stations, where arid warming was observed. At the Gorodovikovsk and Elista weather stations, a similar increase in air temperatures was accompanied by a more significant increase in precipitation, resulting in a tendency for hydrothermal conditions to shift to a more humid one, which corresponds to humid warming. To protect and rationally use land, its resources, water wealth, flora and fauna, to preserve the environment, ensure the sustainable development of natural resources, and improve the efficiency of each hectare of land, especially in conditions of insufficient moisture, appropriate measures must be taken. As an example, an econometric model is presented that demonstrates the impact of a number of factors (characterizing the resource potential of a region) on agricultural production (for the period 2015 to 2025). These factors include the area of agricultural land, the average annual number of agricultural workers, the application of mineral fertilizers per hectare of crops, the value of fixed assets by type of economic activity, and the volume of investment in fixed capital in agriculture. An analysis of the variables included in the model is conducted. Taking into account the identified factors, a set of measures aimed at increasing the efficiency of agricultural production in the region is formulated.

Keywords: *land rational usage, hydrothermal conditions, arid warming, land resources, correlation and regression analysis, econometric models.*

Citation. Konieva G. N., Batyrov V. A., Petrov N. Yu., Salaev B. K. The agricultural and climatic resources contemporary changes in the Kalmykia Republic natural and agricultural zones. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 194-202 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-21.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in developing the program, planning the experiment, recording and analyzing the obtained data, presenting the conclusions, and formulating proposals for production. The authors of this article reviewed and approved the final version of the article.
Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 551.583(470.47)

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПРИРОДНО-СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗОНАХ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ

[1]Кониева Г. Н., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[2]Батыров В. А., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]Петров Н. Ю., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]Салаев Б. К., *доктор биологических наук, профессор*

[1]Калмыцкий филиал ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Калмыцкий ГУ имени Б. Б. Городовикова»
г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№075-03-2026-375) «Особенности и условия адаптации аграрной периферии к изменениям окружающей среды».

Актуальность. На основании данных пяти метеорологических станций Республики Калмыкия за многолетний период были проанализированы тенденции изменений температуры воздуха, количества осадков и гидротермических условий, выраженных гидротермическим коэффициентом Селянинова. Для всех метеостанций определен значимый тренд повышения среднегодовой температуры воздуха. Годовое количество осадков имело значимый тренд увеличения только на метеостанции Городовиковск (22,1 мм/год/10 лет) и Элиста (10,1 мм/год/10 лет), на метеостанциях Яшкуль и Лагань тенденция составила 4,5-9,6 мм/год/10 лет. Уменьшение роста атмосферных осадков отмечено только на метеостанции Малые Дербеты и составляет – 9,9 мм/год/10 лет. На фоне интенсивного роста температур отмечена тенденция снижения значений гидротермического коэффициента Селянинова для метеостанций Малые Дербеты, Яшкуль, Лагань. Здесь отмечено аридное потепление, а на метеостанциях Городовиковск и Элиста аналогичный рост температур воздуха сопровождался более значимым увеличением осадков, в результате чего отмечена тенденция смещения гидротермических условий к более влажным, что соответствует гумидному потеплению.

Для защиты и рационального использования земель, их ресурсов, водного богатства, растительного и животного мира, с целью сохранения окружающей среды, обеспечения устойчивого развития природных богатств и повышения эффективности использования каждого гектара земли, особенно в условиях недостаточного увлажнения, необходимо предпринимать соответствующие меры. В качестве примера приведена эконометрическая модель влияния ряда факторов (характеризующих ресурсный потенциал региона) на объем сельскохозяйственной продукции за период с 2015 по 2025 годы, среди которых: площадь земель сельскохозяйственного назначения, среднегодовая численность работников сельского хозяйства, внесение минеральных удобрений на один гектар посева сельскохозяйственных культур, стоимость основных фондов по видам экономической деятельности, объем инвестиций в основной капитал сельского хозяйства; также проведен анализ переменных, вошедших в модель. С учетом выявленных факторов сформулирован комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности сельскохозяйственного производства в регионе.

Ключевые слова: *рациональное использование земель*, *гидротермические условия, аридное потепление, земельные ресурсы, корреляционно-регрессионный анализ, эконометрические модели.*

Цитирование. Кониева Г. Н., Батыров В. А., Петров Н. Ю., Салаев Б. К. Современные изменения агроклиматических ресурсов в природно-сельскохозяйственных зонах Республики Калмыкия. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 194-202. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-21.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

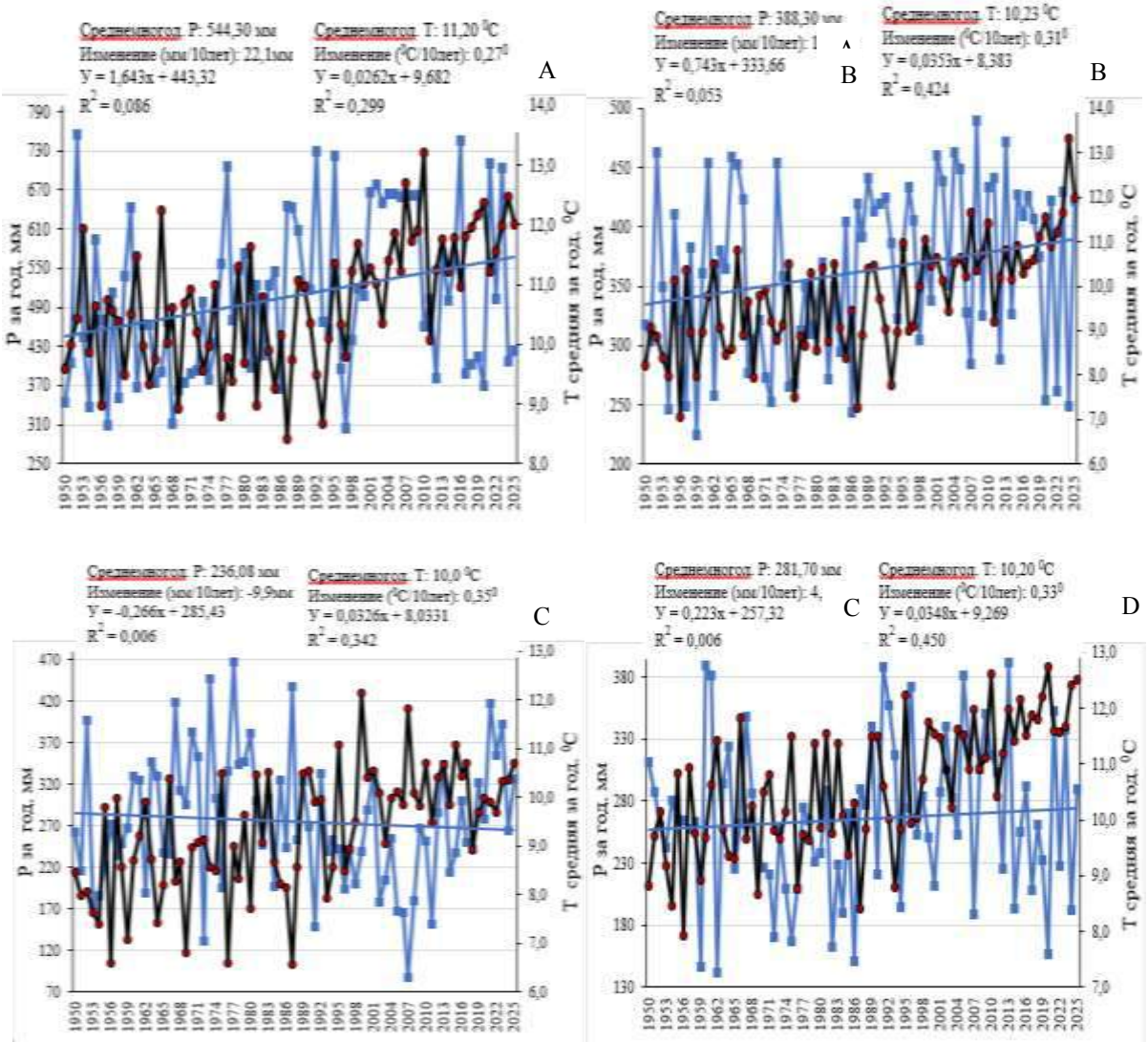
Введение. В современных условиях одним из ключевых направлений развития экономики Российской Федерации является повышение продуктивности сельского хозяйства в целом и эффективного использования земельных ресурсов в частности. Эти факторы подчеркивают важность и актуальность научных исследований, направленных на создание устойчивой системы землепользования [1, 5-9].

Современная стратегия природопользования и управления агроландшафтами определяется глобальными экологическими процессами. Эти процессы включают всеобщие изменения нашей планеты под воздействием природных и антропогенных факторов, таких как истощение природных ресурсов и биоразнообразия, деградация и снижение устойчивости агрогеоэкосистем, загрязнение окружающей природной среды [1, 4, 5]. Нынешние климатические трансформации оказывают серьезное воздействие на жизнь экосистем и приводят к ухудшению состояния ландшафтов. Климатические условия в Республике Калмыкия отличаются высокой неоднородностью, характеризуясь значительными колебаниями температуры и нестабильным уровнем влажности [4]. Эти интенсивные климатические изменения оказывают существенное влияние на почвенно-растительный покров республики, причем для некоторых ее частей существует опасность увеличения площадей опустынивания [2, 10, 11]. Важнейшей задачей в сельском хозяйстве является управление агрогеоэкосистемами и агроландшафтами, которые выполняют продукционные, средообразующие и природоохранительные функции, и их сохранение, воспроизводство и обеспечение долголетия плодородных земель, являются основой производственного базиса.

Материалы и методы исследований. По данным метеорологических станций Республики Калмыкия проведен анализ региональной изменчивости среднемноголетних характеристик годовых температур воздуха и сумм осадков (Малые Дербеты, Элиста, Городовиковск, Яшкуль) за период 1950-2025 гг., а по метеостанции Лагань с 1960 г., так как до этого срока в архиве имеются массовые пропуски данных наблюдений. В соответствии с рекомендацией Всемирной метеорологической организации (ВМО) аномалии приводятся относительно базового среднемноголетнего периода 1991-2020 годов**.** Приведены оценки линейного тренда средней годовой температуры воздуха и сумм осадков по метеостанциям Республики Калмыкия; значимость оценивалась с использованием Т-статистики Стьюдента, где D – коэффициент детерминации (доля суммарной дисперсии, учтенная трендом). Коэффициент тренда является характеристикой средней скорости изменения климатического показателя на рассматриваемом отрезке времени. Величину изменения во временном ряду определяли с помощью критерия наклона Сена.

Информационной базой, обеспечивающей репрезентативность исходных данных, достоверность, надежность и точность выводов и рекомендаций служат официальные материалы Росреестра, статистических сборников, Министерства по земельным и имущественным отношениям в Республике Калмыкия, фондовые материалы ОАО КалмНИИгипрозем, а также информация, изложенная в монографиях, научных статьях и собственные аналитические расчеты. Расчёт показателей и оценка трендов проводился в пакете Microsoft Excel.

Результаты исследований. Динамика среднегодовой температуры за многолетний период по метеорологическим станциям «Малые Дербеты», «Элиста», «Яшкуль», «Городовиковск» и «Лагань» по данным аппроксимированной величины линейного тренда имеет тенденцию к увеличению при средней скорости роста 0,3 °С/10 лет (рисунок 1). При этом наибольшие изменения среднегодовой температуры воздуха в рассматриваемый период произошли в южной части республики: по метеостанции «Лагань» тренд составляет +0,36 °С/10 лет (рисунок 1Е) и объясняет 90 % межгодовой изменчивости. Минимальный рост среднегодовой температуры воздуха отмечен по метеостанции «Городовиковск» – +0,27 °С/10 лет с 62 % межгодовой изменчивости. Максимальная температура воздуха для всех метеостанций отмечена в 2007 году и составила 12,70, 11,66, 11,82, 11,98 и 12,20 °С для метеостанций Городовиковск, Элиста, Малые Дербеты, Яшкуль и Лагань соответственно.



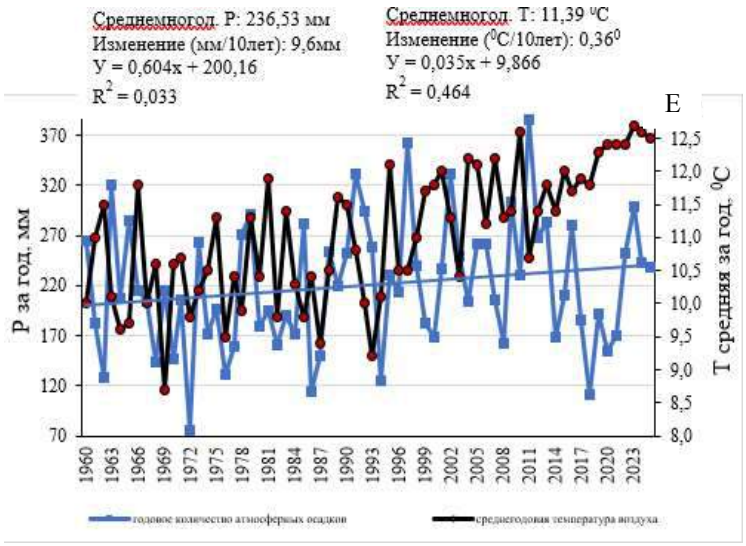


Рисунок 1 – Динамика годового количества осадков ($P_{год}$) и среднегодовой температуры воздуха ($T_{ср.год.}$) за многолетний период на метеорологических станциях:
A – Городовиковск, B – Элиста, C – Малые Дербеты, D – Яшкуль, E – Лагань
Figure 1 – Dynamics of annual precipitation (Pyear) and average annual air temperature (Taverage year) over a long-term period at meteorological stations:
A – Gorodovikovsk, B – Elista, C – Malye Derbety, D – Yashkul, E – Lagan

За годы наблюдений годовая сумма атмосферных осадков варьировала от максимального значения – 755 мм в 1952 году по метеостанции Городовиковск (рисунок 1A) до минимального – 76 мм в 1972 году по метеостанции Лагань (рисунок 1E). Значимый тренд к увеличению атмосферных осадков выражен на метеостанциях Городовиковск (22,1 мм/год/10 лет) и Элиста (10,1 мм/год/10 лет), по метеостанциям Яшкуль и Лагань тенденция составила 4,5-9,6 мм/год/10 лет. Уменьшение количества атмосферных осадков отмечено только на метеостанции Малые Дербеты и составляет – 9,9 мм/год/10 лет. Минимальное годовое количество осадков для всех метеостанций отмечено в 1972 году и составило 394, 252, 131, 170 и 76 мм для метеостанций Городовиковск, Элиста, Малые Дербеты, Яшкуль и Лагань соответственно.

Данные по гидротермическим условиям коррелируют с природной зональностью Калмыкии: по данным метеостанции Городовиковск (расположение станции в степной зоне) на крайнем западе республики в слабоаридной зоне с NIA = 0,4 очень сухой (ГТК < 0,30) и сухой (ГТК = 0,30-0,50) режимы увлажнения за многолетний период отмечались редко – 1 % и 8 % соответственно; большинство лет отмечались как засушливые годы с ГТК > 0,7 – 64 % (49 лет из 76).

В умеренно аридной зоне, включающей большую часть западной Калмыкии, по данным метеостанции Элиста с NIA = 0,4-0,6 разной степени засушливые условия происходили реже, по сравнению со слабо аридной зоной, в 25 исследуемых годах или 33 %. Увеличивается процент встречаемости лет с очень засушливым (34 %) и сухим (29 %) ГТК. В среднеаридной зоне с NIA = 0,6-0,7, включающую большую часть восточной зоны Калмыкии (м. Малые Дербеты, Яшкуль) режим увлажнения отмечается чаще сухой (16-26 %) и очень сухой (43-49 %) с редкими периодами достаточного увлажнения. Высокая частота очень сухих и сухих лет указывает на пустынно-полупустынные черты климата. Сильно аридная зона (м. Лагань) с нормализованным индексом аридности NIA > 0,7 расположенная на крайнем юго-востоке Калмыкии, резко выделяется высоким процентом очень сухих лет (36 % или 12 лет из 66) (таблица 1).

Примечательно, что на метеостанциях Яшкуль и Лагань значения показателя ГТК имеет тенденцию к более сухому режиму, несмотря на незначительное увеличение годового количества атмосферных осадков, которое нивелируется интенсивным ростом температуры воздуха. На метеостанциях Городовиковск и Элиста аналогичный рост температуры воздуха сопровождался более значимым увеличением осадков, в результате чего отмечена тенденция смещения гидротермических условий к более влажным. На основании полу-

ченных тенденций можно заключить, что за многолетний период наблюдений на метеостанциях Малые Дербеты, Яшкуль и Лагань отмечено аридное потепление, а на метеостанциях Городовиковск и Элиста – гумидное потепление.

Таблица 1 – Характер гидротермических условий метеорологических станций Республики Калмыкии за многолетний период
Table 1 – The nature of hydrothermal conditions at meteorological stations in the Kalmykia Republic over a long period

Классификация ГТК / The hydrothermal coefficient classification	Метеорологическая станция / Meteorological station				
	Городовиковск / Gorodovikovsk	Элиста / Elista	Дербеты / Derbety	Яшкуль / Yashkul	Лагань / Lagan
< 0,30 очень сухой / very dry	1 (1 %)	3 (4 %)	20 (26 %)	12 (16 %)	24 (36 %)
0,3-0,5 сухой / dry	6 (8 %)	22 (29 %)	33 (43 %)	37 (49 %)	33 (50 %)
0,5-0,7 очень засушливый / very dry	20 (26 %)	26 (34 %)	18 (24 %)	21 (28 %)	7 (11 %)
> 0,7 засушливый / dry	49 (64 %)	25 (33 %)	5 (7 %)	6 (8 %)	2 (3 %)

По данным Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии в структуре земельного фонда Республики Калмыкия по состоянию на 01.01.2025 г. 7473,1 тыс. га, из которых 92,87 % составляют сельскохозяйственные угодья (6940,5 тыс. га) [3]. Основными негативными процессами в республике являются: эрозия почв (смыв и дефляция); дегумификация, переуплотнение и слитизация почв пашни; засоление, осолонцевание, заболачивание, переувлажнение орошаемых земель; загрязнение земель; опустынивание территорий; деградация природных кормовых угодий; подтопление земель сельскохозяйственного назначения и земель поселений. Общая площадь эродированных земель в Республике Калмыкия составляет около 200 тыс. га, из которых на долю опустынивания приходится 91256,3 га, на засоление – 44899,4 га, на ветровую эрозию – 30790,8 га, на водную эрозию – 2097 га, переувлажнение – 23329,9 га, затопление – 3345,3 га. Ветровая эрозия наиболее развита в восточных районах республики, где территория равнинная, в условиях интенсивной ветровой деятельности, недостаточного и нерегулярного атмосферного увлажнения и слабой эрозионной устойчивости почв. Водная эрозия встречается на склоновых землях Ставропольской и Ергенинской возвышенности. Эрозионные процессы являются главной причиной уменьшения толщины гумусового слоя, ухудшения структуры плодородного слоя почв. Широкое распространение в республике приняло подтопление земель грунтовыми водами, вызванное как деятельностью человека, так и природными явлениями.

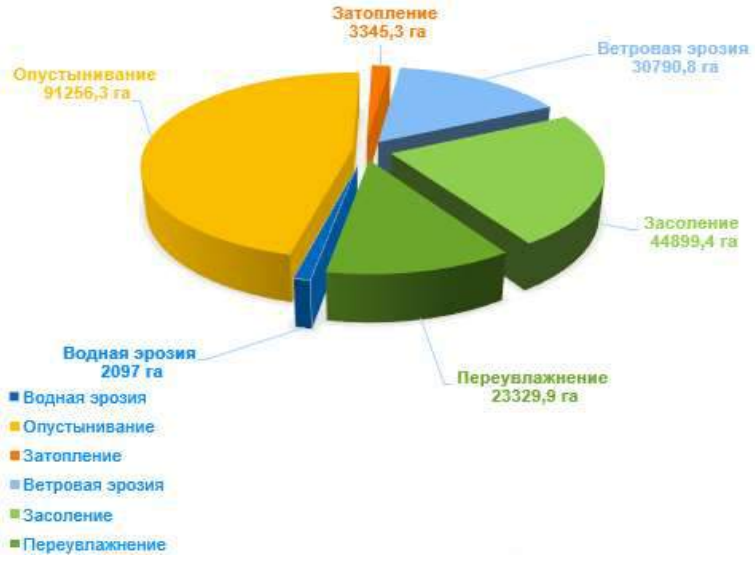


Рисунок 2 – Мониторинг состояния земель Республики Калмыкия на 01.01.2025 г.
Figure 2 – Monitoring the state of lands in the Republic of Kalmykia as of January 1, 2025

Проведенный анализ использования земельных ресурсов в Республике Калмыкия позволяет выявить следующие отрицательные тенденции в сфере землепользования: наблюдается увеличение уровня грунтовых вод, вызванное нарушением поливных режи-

мов сельскохозяйственных культур; повышение уровня минерализации, засоление сельскохозяйственных земельных угодий, переувлажнение почв, обусловленное использованием устаревших технологий сельскохозяйственного производства, а также оросительной воды, не соответствующей установленным требованиям экологической безопасности; снижение концентрации гумуса в почвах из-за недостаточного внесения органических минеральных удобрений и использования несбалансированных севооборотов.

Согласно данным Управления Федеральной службы государственной статистики по Астраханской области и Республике Калмыкия, на 2024 год из 317,4 тыс. га на долю зерновых и зернобобовых культур приходилось 90,7 % (288 тыс. га) (таблица 2). Большую долю посевных площадей Калмыкии занимает возделывание пшеницы озимой и яровой. Особенно высокую эффективность проявляет озимая пшеница в хозяйствах Западной зоны; так, в 2024 году посевная площадь под этой культурой составила 84,5 тыс. га и занимает в структуре посевов зерновых 30 %.

Таблица 2 – Посевные площади сельскохозяйственных культур в Республике Калмыкия, тыс. га
Table 2 – Cultivated areas of agricultural crops in the Republic of Kalmykia, thousand hectares

Посевные площади / Cultivated area	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Вся площадь / Total area	266,4	253,0	283,5	285,8	317,2	304,9	297,8	326,0	327,4	317,4
Зерновые и зернобобовые культуры / Grain and legume crops	217,6	197,4	238,9	248,8	285,6	276,8	267,6	290,6	297,4	288,0
Масличные культуры / Oilseeds	10,5	13,4	12,1	10,6	80,6	60,8	11,2	18,4	14,9	16,8
Картофель и овощебахчевые культуры / Potatoes and vegetable and melon crops	20,7	20,9	20,2	10,6	10,3	10,0	00,8	00,6	00,5	00,4
Кормовые многолетние травы / Forage perennial grasses	12,0	12,8	12,2	12,5	90,0	90,3	70,0	70,3	70,3	60,6
Кормовые однолетние травы на сено / Forage annual grasses for hay	23,5	26,5	18,1	12,2	12,7	11,0	11,1	90,1	70,1	50,6

Приведем эконометрическую модель результата влияния факторов на объем сельскохозяйственной продукции растениеводства Республики Калмыкия. Состав факторов выглядит следующим образом: У – объем производства продукции растениеводства, тыс. руб.; x_1 – площадь сельскохозяйственных угодий в хозяйствах всех категорий, тыс. га.; x_2 – среднегодовая численность работников сельского хозяйства, тыс. чел.; x_3 – внесение минеральных удобрений на один гектар посева сельскохозяйственных культур, кг; x_4 – стоимость основных фондов по видам экономической деятельности на конец, млн руб.; x_5 – объем инвестиций в основной капитал сельского хозяйства, тыс. руб. Исходные данные таблицы 3 заполнены согласно вышеприведенным показателям по материалам Республики Калмыкия за период 2015-2024 гг.

Таблица 3 – Данные для проведения корреляционно-регрессионного анализа
Table 3 – Data for correlation and regression analysis

Год / Year	У	X_1	X_2	X_3	X4	X_5
2015	22714,3	5469,8	21,3	11,8	11586	315503
2016	23500,0	5475,9	22,5	14,8	11083	352544
2017	25800,0	5505,5	22,2	11,4	12255	262810
2018	26558,4	5576,3	20,7	17,0	15104	291691
2019	27870,9	5584,3	18,9	17,0	14803	314157
2020	27692,9	5624,3	18,1	26,8	13766	346590
2021	27221,9	5466,0	18,2	33,2	11568	518715
2022	26862,7	5490,8	18,6	30,2	10819	696785
2023	29140,1	5520,2	17,8	36,0	10463	424814
2024	29274,7	5492,2	17,6	46,5	11125	1065878

$У = 0,39*x_1-0,84*x_2+0,77*x_3+0,08*x_4+0,49x_5$

Наблюдаемый рост объемов сельскохозяйственной продукции (У) в Республике Калмыкия свидетельствует о преобладании интенсивных направлений в производстве. Это подкрепляется следующими фактами: площадь сельскохозяйственных угодий демонстрирует тенденцию к небольшому увеличению, а объемы продукции растут из года в год. Данные тенденции позволяют предположить, что аграрный сектор региона повышает эффективность использования земель, внедряя ресурсосберегающие технологии и оптимизируя пахотные площади. Снижение среднегодовой численности работников сельского хозяйства, вероятно, обусловлено общим процессом урбанизации. Таким образом, рост производства при сокращении рабочей силы может быть объяснен повышением профессионализма кадров, внедрением передовых технологий и цифровой трансформацией, что позволяет достигать лучших результатов с меньшими трудовыми затратами. Стимулирующий эффект достигается за счет использования лизинговых схем и возможности приобретения техники на льготных условиях, что является частью государственных мер по развитию аграрного сектора.

Результаты анализа позволяют определить ключевые направления для повышения продуктивности сельского хозяйства Калмыкии, включая улучшение состояния земель (мелиорация, орошение, модернизация систем), развитие кадров (обучение, мотивация), повышение качества удобрений (научное сотрудничество), техническое оснащение (лизинг, автоматизация, страхование) и финансовую поддержку (субсидии, кредиты, инвестиции).

Выводы. Этапы развития системы сельскохозяйственного землепользования и землеустройства основаны на обеспечении устойчивого развития территории, реализации природно-ресурсного потенциала для целей укрепления эколого-социально-экономического развития регионов.

Conclusions. The stages of development of the agricultural land use and land management system are based on ensuring sustainable development of the territory and implementing the natural resource potential for the purpose of strengthening the ecological, social, and economic development of the regions.

Библиографический список

1. Бакинова Т. И., Дарбакова Н. Е., Дарбакова И. Е., Салаев О. А. Аграрное природопользование в Республике Калмыкия: проблемы и основные направления улучшения ситуации. Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2018. № 4 (230). С. 97-102.

2. Бакинова Т. И., Джапова Р. Р., Трофимов И. А. и др. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Республики Калмыкия: монография. Волгоград-Элиста: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 300 с.

3. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2014-2023 году. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. https://rosreestr.gov.ru/site/activity/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/

4. Кониева Г. Н., Иванова В. И., Адучиева М. Г. Анализ изменений основных климатических показателей на территории Республики Калмыкия за многолетний период. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование 2023. № 2 (70). С 177-184.

5. Огнивцев С. Б. Направления и механизмы стратегии адаптации сельского хозяйства России к климатическим изменениям. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019. № 10 (50). С. 11-18.

6. Таранова И. В., Дальченко Е. А., Дубская Е. С. Основные направления формирования механизма социо-эколого-экономически сбалансированного землепользования на региональном уровне. Экономические науки. 2022. № 5 (210). С. 195-200.

7. Шарко Е. Р. Влияния изменений климата на сельское хозяйство в регионах Российской Федерации. Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 1. С.11-24.

8. Шевченко В. А., Дедова Э. Б., Шамсудинов Н. З. и др. Агромелиоративные приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий: монография. Москва: ФГБНУ «ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова», 2022. 205 с.

9. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A. On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term. Studies on Russian Economic Development. 2020. No. 31. № 3. Pp. 304-311.

10. Danilov-Danil'yan V. I. Water Resources: A Strategic Factor in the Long-Term Development of the Russian Economy. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2009. № 5. Pp. 420-428.

11. Arzania H., Ahmadib Z., Azarnivandc H., Bihamtad M. Forage quality of three life forms of rangeland species in semiarid and semi humid regions in different phenological stages DESERT 15. 2010. Pp. 71-74.

References

1. Bakinova T. I., Darbakova N. E., Darbakova I. E., Salaev O. A. Agricultural nature management in the Republic of Kalmykia: problems and main directions for improving the situation. Bulletin of Adyghe State University. Series 5: Economics. 2018. No. 4 (230). Pp. 97-102.

2. Bakinova T. I., Dzhapova R. R., Trofimov I. A., et al. National action program to combat desertification of the Republic of Kalmykia: monograph. Volgograd-Elista: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2024. 300 p.

3. State (national) report on the status and use of land in the Russian Federation in 2014. 2023. Federal Service for State Registration, Cadaster and Cartography. https://rosreestr.gov.ru/site/activity/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/

4. Konieva G. N., Ivanova V. I., Aduchieva M. G. Analysis of changes in the main climatic indicators in the territory of the Republic of Kalmykia over a long period. Bulletin of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No. 2 (70). Pp. 177-184.

5. Ognivtsev S. B. Directions and mechanisms of the strategy for adapting Russian agriculture to climate change. Economy, labor, management in agriculture. 2019. No. 10 (50). Pp. 11-18.

6. Taranova I. V., Dalchenko E. A., Dubskaya E. S. Main directions for the formation of a mechanism for socio-ecological-economically balanced land use at the regional level. Economic sciences. 2022. No. 5 (210). Pp. 195-200.

7. Sharko E. R. The impact of climate change on agriculture in the regions of the Russian Federation. Theoretical and applied economics. 2022. No. 1. Pp. 11-24.

8. Shevchenko V. A., Dedova E. B., Shamsudinov N. Z., et al. Agricultural and meliorative methods for restoring the fertility of degraded and abandoned agricultural lands and pasture areas. Monograph. Moscow: A. N. Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydrometeorology and Metrology, 2022. 205 p.

9. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A. On the issue of the impact of climate change on the de-velopment of Russian agriculture in the long term.
Studies on Russian Economic Development. 2020. No. 31. № 3. Pp. 304-311.

10. Danilov-Danil'yan V. I. Water Resources: A Strategic Factor in the Long-Term Development of the Russian Economy. Herald of the Russian Academy of Sciences. 2009. № 5. Pp. 420-428.

11. Arzania H., Ahmadib Z., Azarnivandc H., Bihamtad M. Forage quality of three life forms of rangeland species in semiarid and semi humid regions in different phenological stages DESERT 15. 2010. Pp. 71-74

Информация об авторах

Кониева Галина Нагашевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФНЦ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация,127550, г. Москва, Большая Академическая ул., 44).

Батыров Владимир Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Пушкина, 11).

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

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

Authors' Information

Konieva Galina Nagashevna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, A. N. Kostyakov All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Street, 44), e-mail: Vladimir-ba@mail.ru, konieva.g@yandex.ru

Batyrov Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Kalmykia, Elista, Pushkin Str., 11).

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

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-22

THE ASSESSMENT OF THE CARBON STOCK AND THE CO_2 EQUIVALENT IN THE NEEDLES OF THE PINE PLANTATIONS

Koshelev A. V., Potashkina Yu. N., Vedeneeva V. A.

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

Corresponding author E-mail: potashkina-y@vfanc.ru

Received 15.06.2026 Submitted 22.07.2026

The research was conducted within the framework of the state research assignment topic of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences 125021302094-5 "Formation and functioning of adaptive agroforestry complexes in the south of Russia in the context of climate change using digital technologies".

Summary

The article presents the results of calculating the carbon stock in the needles of pine stands (Pinus sylvestris L.), on the basis of which the CO_2 equivalent was calculated using the stoichiometric coefficient.

Abstract

Introduction. Currently, particular attention is paid to the quantitative assessment of the carbon sequestration capacity of forest stands due to their important role in mitigating the effects of climate change. Studying the photosynthetic organs of woody plants is of significant interest, since needles are an important component of the biological carbon cycle and actively participate in carbon accumulation processes. In this regard, studying carbon stocks in pine needles and estimating the corresponding CO_2 equivalent is relevant. The

aim of this study is to determine carbon stocks in pine needles of different age classes, calculate their CO_2 equivalent, and identify patterns of change in these indicators depending on the age of the stand. Object of the study were artificially created protective plantings of Scots pine (Pinus sylvestris L.), represented by stands of different age classes. **Materials and methods.** The carbon content of Scots pine needles of different age classes was determined using a laboratory method in absolutely dry matter. Based on the obtained data and needle phytomass values, the carbon stock and the corresponding CO_2 equivalent were calculated using the stoichiometric conversion factor. **Results and discussion.** The carbon content of Scots pine needles of different age classes varied between 55.5 and 56.5 % of absolutely dry matter. Carbon stocks increased from 2.0 tC/ha in young stands of Group I to 2.8 tC/ha in young stands of Group II and reached a maximum of 3.9 tC/ha in middle-aged stands, after which they decreased to 3.5 tC/ha in maturing and mature stands. The corresponding CO_2 equivalent varied from 7.34 t/ha in young stands of Group I to 10.28 t/ha in Group II and 14.31 t/ha in middle-aged stands, decreasing to 12.85 t/ha in older age classes. The obtained results confirm the presence of a pronounced age-related dynamics of carbon accumulation in needles, with a maximum in middle-aged stands.

Keywords: *Scots pine, Pinus sylvestris L., pine needles, pine phytomass, CO_2 equivalent.*

Citation. Koshelev A. V., Potashkina Yu. N., Vedeneeva V. A. The assessment of the carbon stock and the CO_2 equivalent in the needles of the pine plantations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 202-211 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-22.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC editorial board would like to express their gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
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*2

ОЦЕНКА ЗАПАСА УГЛЕРОДА И CO_2-ЭКВИВАЛЕНТА В ХВОЕ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Кошелев А. В., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Поташкина Ю. Н., *младший научный сотрудник*
Веденеева В. А., *ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук*

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
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. В настоящее время особое внимание уделяется количественной оценке углерододепонирующей способности лесных насаждений в связи с их важной ролью в смягчении последствий климатических изменений. Значительный интерес представляет изучение фотосинтезирующих органов древесных растений, поскольку хвоя является важным компонентом биологического круговорота углерода и активно участвует в процессах его аккумуляции. В этой связи актуальным является изучение запасов углерода в хвое сосновых насаждений и оценка соответствующего CO_2-эквивалента. Целью настоящего исследования является определение запасов углерода в хвое сосновых насаждений различных возрастных классов, расчёт их CO_2-эквивалента и выявление закономерностей изменения данных показателей в зависимости от возраста древостоя. **Объектом исследования** являлись искусственно созданные защитные насаждения сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), представленные древостоями различных возрастных классов. **Материалы и методы.** Содержание углерода в хвое сосны обыкновенной различных возрастных классов определяли лабораторным методом в абсолютно сухом веществе. На основании полученных данных и значений фитомассы хвои рассчитывали запас углерода, а также соответствующий ему CO_2-эквивалент с использованием стехиометрического коэффициента пересчёта**. Результаты и обсуждение.** Содержание углерода в хвое сосны обыкновенной различных возрастных классов варьировало в пределах 55,5-56,5 % абсолютно сухого вещества. Запасы углерода увеличивались от 2,0 т С/га в молодняках I группы до 2,8 т С/га в молодняках II группы и достигали максимума 3,9 т С/га в средневозрастных насаждениях, после чего снижались до 3,5 т С/га в приспевающих и спелых древостоях. Соответствующий CO_2-эквивалент изменялся от 7,34 т/га в молодняках I группы до 10,28 т/га во II группе и 14,31 т/га в средневозрастных насаждениях, снижаясь до 12,85 т/га в старших возрастных классах. Полученные результаты подтверждают наличие выраженной возрастной динамики накопления углерода в хвое с максимумом в средневозрастных насаждениях.

Ключевые слова: *сосна обыкновенная, Pinus sylvestris L., хвоя сосны, фитомасса сосны, CO_2-эквивалент*

Цитирование. Кошелев А. В., Поташкина Ю. Н., Веденеева В. А. Оценка запаса углерода и CO_2-эквивалента в хвое сосновых насаждений. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 202-211. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-22.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Растительный покров рассматривается как активный регулятор углеродного цикла: в процессе фотосинтеза атмосферный CO_2 трансформируется в органическое вещество, формируя различные пулы углерода – от краткоживущих фракций травянистой растительности до долговременных хранилищ, представленных древесной фитомассой и почвенным органическим веществом. Значительный вклад в изучение роли лесных экосистем в глобальном углеродном цикле и накоплении органического углерода внесён в работах ряда отечественных исследователей [1-5].

Наряду с углеродом важную роль в функционировании наземных экосистем играет азот, являющийся одним из основных биогенных элементов, входящих в состав белков, нуклеиновых кислот и других органических соединений живых организмов [6, 7]. Круговороты углерода и азота тесно взаимосвязаны и во многом определяют процессы образования, трансформации и разложения растительной фитомассы. Соотношение углерода и азота в органическом веществе существенно влияет на скорость микробиологической трансформации растительных остатков и формирование почвенного органического вещества [7, 8]. В ходе этих процессов часть углерода и азота возвращается в атмосферу в виде газообразных соединений, включая диоксид углерода, метан и закись азота, которые относятся к климатически активным веществам и участвуют в формировании современного климатического режима [7-9].

Поглощение парниковых газов растениями осуществляется в процессе фотосинтеза, основным органом которого у древесных является ассимиляционный аппарат, включающий листья и хвою [6, 10, 11]. У хвойных пород, в частности у сосны обыкновенной, именно хвоя выполняет функцию основного фотосинтезирующего органа, обеспечивающего связывание атмосферного углерода. Поглощение CO_2 растениями происходит через устьица, представляющие собой отверстия в эпидермисе листьев и других зеленых частей растений. Через них углекислый газ из атмосферы проникает во внутренние ткани хвои/листьев, где в хлоропластах осуществляется процесс фотосинтеза.

В результате данного процесса углерод из атмосферного CO_2 включается в состав органического вещества растения и в дальнейшем аккумулируется в различных компонентах фитомассы. Так, хвоя является первичным звеном фиксации углерода и характеризуется высокой интенсивностью физиологических процессов [6, 7].

Содержание углерода в растительности может варьировать от 33 до 78 % а. с. в., тогда как содержание азота изменяется в более широких пределах – от 0,1 до 6,0 % а. с. в., что связано с видовыми особенностями растений, возрастом тканей и условиями произрастания [6, 7, 8].

Варьирование содержания углерода в растительности обусловлено различиями анатомического строения тканей, химического состава и физиологического состояния растений. Определение доли углерода в растительном веществе позволяет оценить депонирующую способность фитомассы и её роль в биогеохимическом цикле углерода [5, 8].

По данным исследований А. С. Исаева с соавторами, лесные экосистемы являются крупнейшим наземным резервуаром углерода, основная часть которого сосредоточена в стволовой древесине. Установлено, что с увеличением возраста, продуктивности древостоев и морфометрических показателей деревьев возрастает как запас древесины, так и запас аккумулированного в ней углерода (Исаев А. С., 2012) [12].

Отмечается наличие положительной взаимосвязи между запасом древесины и запасом углерода в стволовой фитомассе. Таким образом, большинство исследований углеродного запаса древесных растений посвящено стволовой фитомассе, для которой характерно увеличение запаса углерода по мере роста деревьев и увеличения их морфометри-

ческих показателей. Вместе с тем особенности формирования запаса углерода в хвое изучены значительно меньше. В данном случае запас углерода определяется не только морфометрическими показателями деревьев, но и величиной фитомассы хвои, а также содержанием углерода в её абсолютно сухом веществе. В связи с этим представляет интерес оценка запаса углерода в хвое сосновых насаждений различных возрастных классов и выявление взаимосвязи между морфометрическими показателями деревьев и величиной запаса углерода в хвое.

Цель работы заключалась в определении запасов углерода в хвое сосновых насаждений различных возрастных классов, расчёте их CO_2-эквивалента и выявлении закономерностей изменения данных показателей в зависимости от возраста древостоя.

Материалы и методы. Исследования проводились на полигоне интенсивного типа № 2 «Камышин», расположенном в Камышинском районе Волгоградской области, созданного в рамках реализации 1-го этапа проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ РИТМ УГЛЕРОДА) (рисунок 1). Территория приурочена к центральной части Волгоградской области и расположена в пределах сухостепной зоны на западном берегу Волгоградского водохранилища. Территория находится на восточном склоне Приволжской возвышенности и характеризуется развитой овражно-долинной сетью, сформированной долиной реки Камышинки. Рельеф пологоволнистый, с колебанием абсолютных высот от 85 до 140 м. Основным типом почвообразования является каштановый; почвенный покров представлен песками на погребенной каштановой почве и каштановыми легкосуглинистыми разностями на делювиальных наносах и песках (Земляницкий Л. Т., 1949-1952). Климатические условия района отличаются выраженной континентальностью, при среднем годовом количестве осадков 330 мм [13].

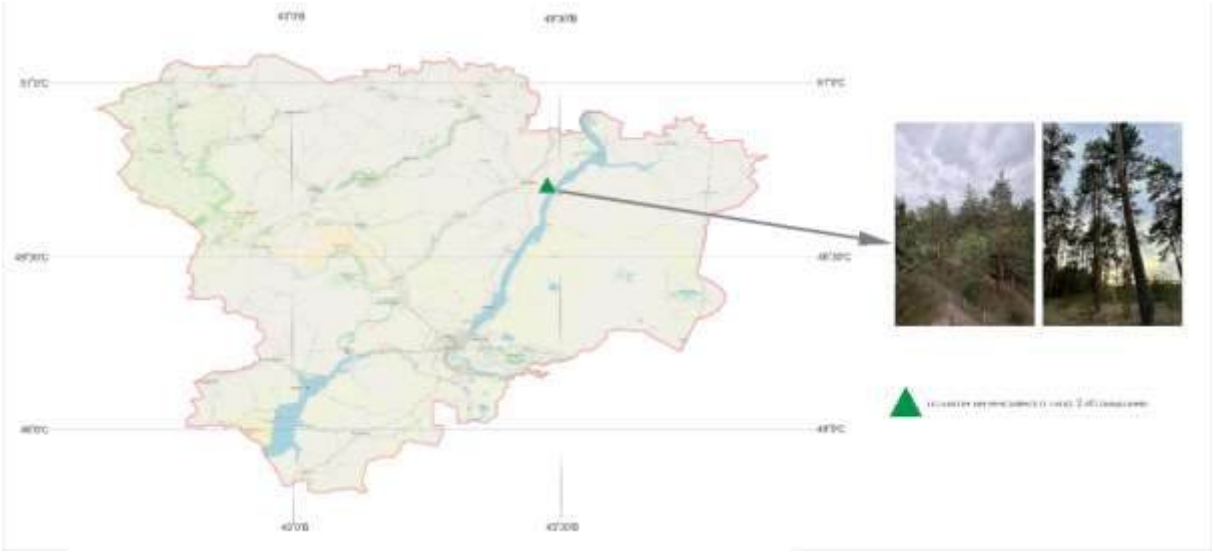


Рисунок 1 – Месторасположение полигона «Камышин»
Figure 1 – Location of the Kamyshin landfill

Растительный покров территории характеризуется чёткой ярусной структурой и представлен древесным, кустарниковым, травянистым ярусами и частично подростом. Древесный ярус сформирован преимущественно сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) различного возраста. Единично отмечаются дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), акация (*Robinia pseudoacacia* L.) и тополь (*Populus alba* L.). Подрост представлен преимущественно сосной обыкновенной и дубом черешчатым. Кустарниковый ярус развит достаточно хорошо и сформирован такими видами, как ракитник русский (*Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klásk.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L) и смородина золотистая (*Ribes aureum* Pursh). Травянистый ярус отличается высоким видовым разнообразием и представлен преимущественно лугово-степными, ксерофитными и сорно-полевыми видами. В его составе отмечаются полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), вей-

ник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana* Trin. & Rupr.), овсяница валлисская (*Festuca valesiaca* Gaudin), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), житняк гребенчатый (*Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) P. Beauv.), а также ряд бобовых и рудеральных видов.

Исследуемая территория не относится к типичным лесным участкам с естественно сформированным древесным покровом, а представляет собой объект агролесомелиоративного обустройства, созданный на песчаных почвах. Подобные насаждения создавались с целью закрепления песков, предотвращения дефляции и повышения устойчивости растительного покрова в условиях песчаных почв. В связи с этим структура растительного покрова и особенности формирования фитомассы на данных участках существенно отличаются от естественных лесных экосистем [13].

Полевые исследования включали проведение таксационного описания насаждений и отбор проб хвои. Для расчёта запаса углерода в хвое определяли запас фитомассы хвои и содержание углерода в абсолютно сухом веществе. Расчёт фитомассы хвои выполнялся на основе методических рекомендаций, утверждённых консорциумом «РИТМ углерода», с последующим определением запаса углерода в хвое [14]. Химический анализ растительных образцов проводился методом высокотемпературного сжигания в кислороде с применением каталитической системы в газовой фазе на основе триоксида вольфрама и восстановленной меди на анализаторе ECS 4024 N. C. Technologies в аккредитованной лаборатории Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова.

На основе полученных значений запаса углерода в хвое дополнительно был рассчитан его эквивалент в виде диоксида углерода. Пересчёт выполнен с использованием стехиометрического коэффициента 3,67 (CO_2/C = 44/12), принятого в международных научных организациях, деятельность которых связана с вопросами изменения климата, в том числе в методических руководствах IPCC. Данный подход позволяет выразить накопленный в растительной фитомассе углерод в единицах CO_2-эквивалента, отражающих его климатический эквивалент [15-17]. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием методов вариационной статистики в программах Microsoft Excel и Python.

Результаты и обсуждение. В основе определения запасов углерода в хвое различных возрастных классов лежали результаты химического анализа растительных образцов (таблица 2) и данные таксационной оценки, впоследствии преобразованные в значения фитомассы (таблица 3).

Таблица 1 – Результаты химического анализа растительных образцов хвои
Table 1 – The results of chemical analysis of plant samples of needles

Возрастная группа / Age group	C а. с. в., % / C, a.d.w	N а. с. в., % / N, a.d.w	C/N
Молодняки 1 / Young plants, group 1	55,739	1,525	36,5
Молодняки 2 / Young plants, group 2	56,101	1,308	42,9
Средневозрастные / Middle-aged plants	56,460	1,575	35,8
Приспевающие / Maturing plants	56,254	1,420	39,6
Спелые / Mature plants	55,532	1,453	38,2

Анализ химического состава хвои показал, что содержание углерода в растительных образцах варьирует в относительно узком диапазоне (55,5-56,5 %) и не демонстрирует выраженной зависимости от возрастного класса насаждений. В то же время содержание азота характеризуется большей вариабельностью: минимальные значения отмечены у молодняков II группы (1,308 %), максимальные у средневозрастных насаждений (1,575 %). Соотношение C/N изменяется в пределах от 35,8 до 42,9, достигая наибольших значений в молодняках II группы, что может свидетельствовать о более низкой обеспеченности азотом и, соответственно, особенностях метаболической активности растений на ранних этапах развития [5, 7, 8].

Оценка запасов фитомассы хвои показала их увеличение от 3,8 т/га у молодняков I группы до максимальных значений у средневозрастных насаждений (6,8 т/га) (рисунок 2, таблица 3) с последующей стабилизацией на уровне 6,3-6,4 т/га в более старших возрастных категориях. При этом отмечено закономерное снижение густоты древостоев от 800 до 200 деревьев на гектар по мере увеличения возраста, что отражает процессы естественно-

го изреживания [13]. Учитывая, что фитомасса является ключевым показателем для формирования запасов углерода, на базе полученных данных о её величине и содержании углерода в хвое выполнена оценка его запасов в насаждениях различных возрастных групп.

Таблица 2 – Показатели фитомассы хвои модельного дерева и запаса хвои на гектар в сосновых насаждениях различных возрастных групп
Table 2 – Needle phytomass of a model tree and needle biomass stock per hectare in Scots pine stands of different age classes

Возрастная группа / Age group	Фитомасса хвои модельного дерева, кг / Phytomass of the model tree's needles, kg	Запас фитомассы хвои, т/га / Phytomass reserve of pine needles, t/ha
Молодняки 1 / Young plants, group 1	4,75	3,8
Молодняки 2 / Young plants, group 2	10,1	5
Средневозрастные / Middle-aged plants	17,1	6,8
Приспевающие / Maturing plants	21,2	6,3
Спелые / Mature plants	32,2	6,4

Запасы углерода в хвое сосновых насаждений характеризуются относительно узким диапазоном значений и специфической возрастной динамикой, обусловленной морфофизиологическими особенностями хвои как ассимиляционного органа. В молодняках 1-й группы они составляют 2,0 т С/га, увеличиваются до 2,8 т С/га в молодняках 2-й группы и достигают максимума в средневозрастных насаждениях 3,9 т С/га, после чего в приспевающих и спелых насаждениях стабилизируются на уровне 3,5 т С/га.

Рост запасов углерода на ранних этапах связан с формированием кроны и увеличением общей массы ассимиляционного аппарата, тогда как достижение максимальных значений в средневозрастных насаждениях отражает период наиболее полного развития кроны и листовой поверхности [8, 9]. При этом морфометрические характеристики хвои (длина, толщина) с возрастом изменяются незначительно и не оказывают существенного влияния на общий запас углерода, что указывает на второстепенную роль размеров отдельных хвоинок по сравнению с их суммарной массой.



Рисунок 2 – Распределение запасов фитомассы и углерода в хвое
Figure 2 – Distribution of phytomass and carbon reserves in pine needles

В более старших возрастных группах стабилизация запасов углерода обусловлена достижением физиологического предела развития кроны, её частичным разрежением и перераспределением хвои преимущественно в верхней части древостоя, а также установлением равновесия между образованием новой хвои и её опадом [10, 12].

В отличие от древесной биомассы, хвоя не выполняет функцию длительного депонирования углерода, а представляет собой быстрообновляемый компонент с относительно коротким временем жизни, через который осуществляется интенсивный обмен углеродом между растением и окружающей средой [8]. Таким образом, динамика запасов углерода в хвое определяется прежде всего структурой и функционированием кроны, а также балансом процессов прироста и опада, что обусловливает ограниченный диапазон её значений и их стабилизацию в старших возрастных группах.

На основе рассчитанного запаса углерода в хвое был определён эквивалент депонированного углекислого газа. Пересчёт выполнен с использованием стехиометрического коэффициента 3,67 отражающего соотношение молярных масс углекислого газа и углерода [15]. Данный коэффициент позволяет перевести массу углерода, аккумулированного в растительной фитомассе, в эквивалентное количество CO_2, участвующего в процессе фотосинтетического поглощения. Полученные значения характеризуют потенциальный вклад хвои сосновых насаждений различных возрастных классов в поглощение углекислого газа из атмосферы.

Анализ рассчитанных значений CO_2-эквивалента запаса углерода в хвое сосновых насаждений показал его закономерную изменчивость по возрастным классам. Минимальные значения отмечены в молодняках I группы и составляют 7,34 т/га CO_2-эквивалента. В молодняках II группы наблюдается увеличение показателя до 10,28 т/га, что отражает усиление процессов накопления фитомассы хвои на ранних стадиях развития древостоев. Максимальные значения CO_2-эквивалента отмечены в средневозрастных насаждениях и составили 14,31 т/га, что свидетельствует о наиболее высокой интенсивности депонирования углерода в данном возрастном классе (рисунок 3). В приспевающих и спелых насаждениях отмечается снижение и стабилизация значений до 12,85 т/га, что может являться следствием перераспределения углерода в структуре древостоя и относительным уменьшением доли хвои в общей фитомассе. В целом динамика CO_2-эквивалента носит нелинейный характер с выраженным максимумом в средневозрастных насаждениях, что позволяет выделить данную стадию как наиболее значимую с точки зрения накопления углерода в хвое сосновых древостоев.

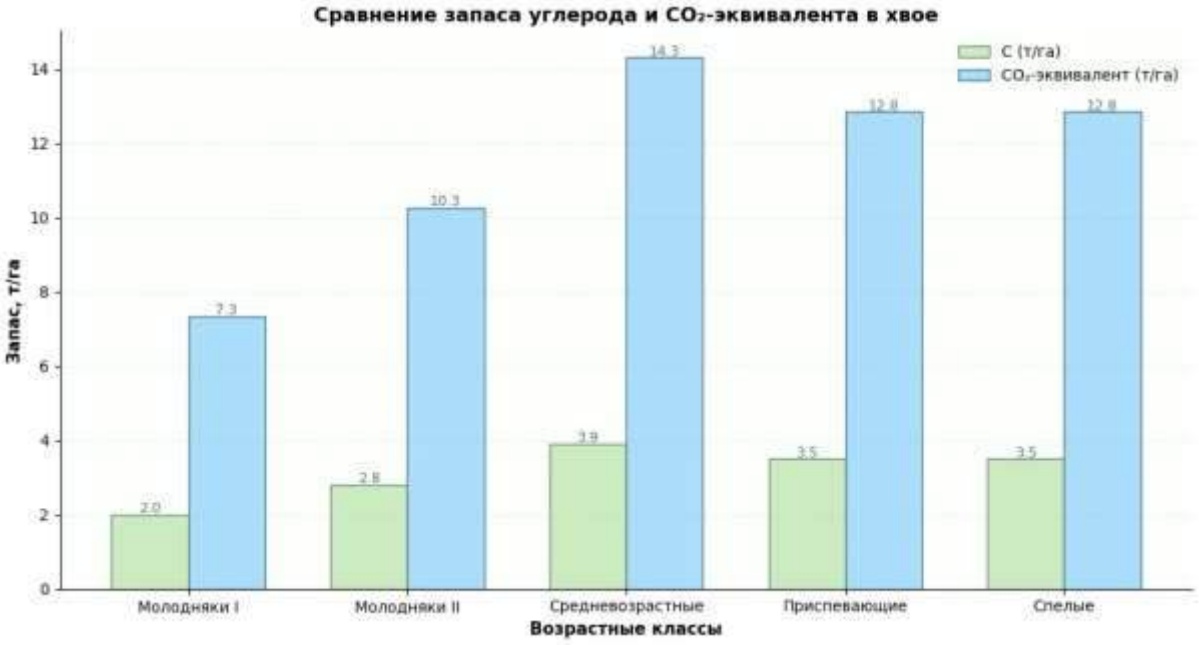


Рисунок 3 – Распределение CO_2-экв по возрастным классам
Figure 3 – Distribution of CO_2-eq by age class

CO_2-эквивалент представляет собой расчётную величину, используемую для выражения массы углекислого газа, эквивалентной количеству углерода, аккумулированного в фитомассе растительных организмов. Данный показатель позволяет унифицировать данные об углеродном запасе и сопоставлять их с климатическими оценками, основанными на содержании углекислого газа в атмосфере. Пересчёт осуществляется на основе стехиометрического соотношения молекулярных масс углерода и диоксида углерода (44/12 = 3,67), отражающего количество CO_2, необходимое для формирования единицы массы углерода в процессе фотосинтеза [15].

Применение CO_2-эквивалента широко распространено в международной практике по климатическому регулированию и часто используется для оценки депонирующей способности лесных насаждений и их участия в круговороте углерода. Данный способ позволяет проводить оценку и переводить запасы углерода в фитомассе в климатически значимые единицы измерения [4, 10, 16, 17].

Значения CO_2-эквивалента позволяют оценить объём углерода, аккумулированного в фитомассе сосновых насаждений различных возрастных классов, однако не отражают в полной мере реальную депонирующую способность растений как динамического процесса. Расчёт CO_2-эквивалента характеризует запас накопленного углерода в фитомассе, тогда как интенсивность поглощения углекислого газа определяется совокупностью физиологических процессов. В связи с этим для более детальной оценки роли насаждений в углеродном цикле перспективным является проведение дополнительных исследований, направленных на изучение фотосинтетической активности, газообмена и потоков углерода между растениями и окружающей средой.

Заключение. По итогам проведенных исследований, включающих в себя комплекс полевых, камеральных и лабораторных работ, получены значения запаса углерода в хвое искусственно созданных сосновых насаждений различных возрастных классов. В основе текущего исследования по определению запаса углерода в хвое лежали два основополагающих показател:я запас фитомассы и содержание углерода в а. с. в. Так, содержание углерода в хвое варьирует в пределах от 55,5 до 56,5 %. Запас фитомассы хвои составляет 3,8 т/га у молодняков и достигает 6,4 т/га у спелых насаждений. Наибольший запас депонированного углерода отмечен у средневозрастных насаждений и составил, по нашим данным, 3,9 т С/га, наименьший – у молодняков 1 группы – 2 т С/га. Рассчитанный на основе запаса углерода в фитомассе хвои CO_2-экв показывает следующе максимальный CO_2-эквивалент запаса углерода в хвое сосновых насаждений отмечен в средневозрастных древостоях (14,31 т/га), минимальный – в молодняках I группы (7,34 т/га), при общей нелинейной возрастной динамике показателя.

Conclusions. Based on the results of the conducted research, which included a combination of field, office, and laboratory work, values for the carbon stock in the needles of artificially established pine plantations of various age classes were obtained. The current study to determine the carbon stock in needles was based on two fundamental indicators: phytomass stock and carbon content in the dry matter. Thus, the carbon content in needles varies between 55.5 and 56.5 %. The phytomass stock of needles is 3.8 t/ha in young stands and reaches 6.4 t/ha in mature stands. The highest stock of sequestered carbon was observed in middle-aged stands, according to our data, amounting to 3.9 tC/ha, while the lowest was found in young stands of Group 1, at 2 tC/ha. The CO_2-eq calculated on the basis of the carbon stock in the phytomass of the needles shows the following: the maximum CO_2-equivalent of the carbon stock in the needles of pine plantations was noted in middle-aged stands (14.31 t/ha), the minimum – in young stands of group I (7.34 t/ha), with a general non-linear age dynamics of the indicator.

Библиографический список

1. Schepaschenko D. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. Scientific Reports. 2021. V. 11. Article 12825.

2. Лукина Н. В. и др. Роль старовозрастных лесов в аккумуляции и хранении углерода. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 4. С. 536-557.

3. Шешницан С. С. и др. Запасы углерода в фитомассе и биологическая продуктивность спелых и перестойных древостоев пригородного лесничества Воронежской области. Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14. № 4 (56). С. 97-110.

4. Sorokin A. S., Telesnina V. M., Podvyazennaya M. A., Meshalkina J. L., Manakova O. I., Samsonova V. P., Kondrashkina M. I., Dyadkina S. E., Chekin M. R., Ilyichev I. A., Kulachkova S. A., Filippova O. I. Assessment of the most important carbon pools in Moscow oblast mixed forests. Moscow University Soil Science Bulletin. 2025. V. 80. Pp. 297-306.

5. Филипчук А. Н. и др. Запасы углерода в фитомассе лесов России: новая количественная оценка на основе данных первого цикла государственной инвентаризации лесов. Лесохозяйственная информация. 2024. № 1. С. 29-55.

6. Каплина Н. Ф., Кулакова Н. Ю. Фитомасса и запасы углерода и азота в контрастных по продуктивности нагорных дубравах южной лесостепи. Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 1 (86). С. 35-42.

7. Сухарева Т. А. и др. Содержание и запасы углерода и азота в наземных экосистемах Мурманской области. Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6. № 2. Статья № 125.

8. Новичонок Е. В., Галибина Н. А., Никерова К. М. Распределение фитомассы и содержания азота и углерода в хвое сосны обыкновенной в средней тайге Республики Карелия. Вопросы лесной науки. 2025. Т. 8. № 1. Статья № 162.

9. Пристова Т. А. Содержание углерода в растениях среднетаежных лиственных фитоценозов Республики Коми. Принципы экологии. 2022. № 3. С. 43-49.

10. Ivanova G. A., Kukavskaya E. A., Ivanov V. A., Conard S. G., McRae D. J. Fuel characteristics, loads and consumption in Scots pine forests of central Siberia. Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31. No. 6. Pp. 2507-2524.

11. Козлов Н. В. и др. Оценка запаса сухостоя в сосновых насаждениях подтаёжно-лесостепного района Средней Сибири. Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 5 (131).

12. Замолодчиков Д. Г. и др. Вклад академика А. С. Исаева в развитие лесной науки. Лесоведение. 2019. № 5. С. 323-340.

13. Поташкина Ю. Н. и др. Фракционный состав фитомассы и годичная продукция сосны обыкновенной Pinus sylvestris в условиях сухостепной зоны каштановых почв. Лесотехнический журнал. 2025. Т. 15. № 4 (60). С. 256-275.

14. Лукина Н. В., Данилова М. А., Иванова Е. А. и др. Методические рекомендации по отбору проб и лабораторной обработке растительного материала для оценки динамики накопления углерода в лесных, степных и тундровых экосистемах. Москва, 2023. 27 с.

15. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. М., 2017. 63 с.

16. IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

17. IPCC. 2022 AR6 WGIII Annex II: Metrics and Methodology.

References

1. Schepaschenko D. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported. Scientific Reports. 2021. V. 11. Article 12825.

2. Lukina N. V. et al. The role of old-growth forests in the accumulation and storage of carbon. News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series. 2023. V. 87. No. 4. Pp. 536-557.

3. Sheshnitsyan S. S. et al. Carbon reserves in phytomass and biological productivity of mature and overmature stands of suburban forestry in the Voronezh region. Forestry journal. 2024. Vol. 14. No. 4 (56). Pp. 97-110.

4. Sorokin A. S., Telesnina V. M., Podvyazennaya M. A., Meshalkina J. L., Manakova O. I., Samsonova V. P., Kondrashkina M. I., Dyadkina S. E., Chekin M. R., Ilyichev I. A., Kulachkova S. A., Filippova O. I. Assessment of the most important carbon pools in Moscow oblast mixed forests. Moscow University Soil Science Bulletin. 2025. V. 80. Pp. 297-306.

5. Filipchuk A. N. et al. Carbon stocks in the phytomass of Russian forests: a new quantitative assessment based on data from the first cycle of the state forest inventory. Forestry information. 2024. No. 1. Pp. 29-55.

6. Kaplina N. F., Kulakova N. Yu. Phytomass and carbon and nitrogen stocks in upland oak groves of contrasting productivity in the southern forest-steppe. Arid ecosystems. 2021. Vol. 27. No. 1 (86). Pp. 35-42.

7. Sukhareva T. A. et al. Content and reserves of carbon and nitrogen in terrestrial ecosystems of the Murmansk region. Questions of forest science. 2023. V. 6. No. 2. Article No. 125.

8. Novichonok E. V., Galibina N. A., Nikerova K. M. Distribution of phytomass and nitrogen and carbon content in Scots pine needles in the middle taiga of the Republic of Karelia. Issues of Forest Science. 2025. V. 8. No. 1. Article No. 162.

9. Pristova T. A. Carbon Content in Plants of Middle Taiga Deciduous Phytocenoses of the Komi Republic. Principles of Ecology. 2022. No. 3. Pp. 43-49.

10. Ivanova G. A., Kukavskaya E. A., Ivanov V. A., Conard S. G., McRae D. J. Fuel characteristics, loads and consumption in Scots pine forests of central Siberia. Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31. No. 6. Pp. 2507-2524.

11. Kozlov N. V. et al. Assessment of the stock of dead wood in pine plantations in the subtaiga-forest-steppe region of Central Siberia. International scientific research journal. 2023. No. 5 (131).

12. Zamolodchikov D. G. et al. Contribution of Academician A.S. Isaev in the development of forest science. Forestry. 2019. No. 5. Pp. 323-340.

13. Potashkina Yu. N. et al. Fractional composition of phytomass and annual production of Scots pine Pinus sylvestris in the dry-steppe zone of chestnut soils. Forestry Journal. 2025. Vol. 15. No. 4 (60). Pp. 256-275.

14. Lukina N. V., Danilova M. A., Ivanova E. A. et al. Guidelines for Sampling and Laboratory Processing of Plant Material to Assess Carbon Accumulation Dynamics in Forest, Steppe, and Tundra Ecosystems. Moscow, 2023. 27 p.

15. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2017, No. 20-r. Guidelines for Quantifying Greenhouse Gas Absorption. Moscow, 2017. 63 p.

16. IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

17. IPCC. 2022 AR6 WGIII Annex II: Metrics and Methodology.

Информация об авторах

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

Поташкина Юстина Николаевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0001-8846-2354, e-mail: potashkina-y@vfanc.ru

Веденеева Варвара Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр-т Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-6623-6062, e-mail: vedeneeva-v@vfanc.ru

Authors' Information
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
Potashkina Yustina Nikolaevna, Junior Research Associate, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97) ORCID: 0000-0001-8846-2354, e-mail: potashkina-y@vfanc.ru
Vedeneeva Varvara Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0002-6623-6062, e-mail: vedeneeva-v@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-23

THE MINERAL FERTILIZERS AND FOLIAR FEEDING EFFECTIVENESS IN THE BARLEY AND SPRING WHEAT YIELD INCREASING

Kuzina E. V., Nikiforova S. A.

Sciences Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev
Ulyanovsk, Russian Federation

Corresponding author e-mail: elena.kuzina@autorambler.ru

Received 17.02.2026 Submitted 13.07.2026

Summary
The article presents the research results obtained on the basis of data used to evaluate the effectiveness of mineral fertilizers applied during sowing, as well as leaf fertilizers with liquid complex fertilizers (LCMS). These agricultural techniques were studied in a field experiment located in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. The analysis demonstrated that the optimization of nutrition of spring wheat and barley plants, achieved through the use of LCCs and balanced application of NPK(S), contributed to a significant increase in crop yields considered in this experiment.

Abstract
Introduction. The study of the effectiveness and optimization of the norms of mineral fertilizers and leaf fertilizers in the cultivation of spring wheat and barley using direct seeding technology is an integrated approach aimed at achieving high productivity. The data obtained as a result of such studies will allow agronomists to make informed decisions adapted to specific conditions and will contribute to the sustainable development of the agricultural sector. **An object.** The object of research was spring wheat and barley. Materials and methods. The experimental work was carried out at the experimental site of the Department of Agriculture and Agricultural Cultivation Technologies of the Ulyanovsk Scientific Research Institute of Agriculture, which is a branch of the SamSC RAS. The experiments were planned and conducted in accordance with generally accepted methods. Results and conclusions. The use of starting standards of mineral fertilizers ($N_{40-60}P_{20-30}K_{20-30}(S_{6-9})$) in combination with leaf fertilization in the tillering phase of the housing and communal services at a dose of 50 kg/ha, due to an increase in ear water content and its weight, provided an additional 0.88-0.95 t/ha of grain (37.3-40.3 % of the control). Foliar top dressing of the housing and communal services (D.V. $N_{11}P_{37}$) at a dose of 50 kg/ha in the tillering phase of the crop, on average, contributed to a yield increase of 0.14 t/ha (+4.8 % to the control). Increasing the dose of LCU to 150 kg/ha was ineffective. Barley showed greater responsiveness to leaf fertilizers of the housing and communal services compared to spring wheat. On these backgrounds, productive bushiness increased by 3.1-8.7 %, ear length – by 1.4-4.3 %, ear water content – by 3.6-11.4 %, grain weight from ear – by 5.1-14.1 % and the weight of 1000 grains – by 2.9-4.2 %. On average, the yield of barley increased by 0.25-0.61 t/ha (8.5-20.7 % compared to the control without top dressing) for the foliar feeding backgrounds (at doses of 50 and 150 kg/ha). On average, in the mineral agricultural background, the highest yield of barley was obtained with the application of $N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$ – 3.93 t/ha (+1.3 t/ha or +49.4 % of the control), due to an increase in the length of the ear by 10.1 %, ear water content by 17.4 %, grain weight from the ear by 27.0 %, weight of 1000 grains +6.4 % of the control.

Keywords: *grain yield, weight of 1,000 grains, grain fertilizers, foliar fertilizers for grain crops.*

Citation. Kuzina E. V., Nikiforova S. A. The mineral fertilizers and foliar feeding effectiveness in the barley and spring wheat yield increasing. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 211-218 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-23.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. 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 631.82+633.11+633.16

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ЛИСТОВОЙ ПОДКОРМКИ В ПОВЫШЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЯЧМЕНЯ И ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Кузина Е. В., *кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом*
Никифорова С. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева
г. Ульяновск, Российская Федерация

Актуальность. Изучение эффективности и оптимизация норм минеральных удобрений и листовых подкормок при возделывании яровой пшеницы и ячменя по технологии прямого посева – это комплексный подход, направленный на достижение высокой продуктивности. Полученные в результате таких исследований данные позволят агрономам принимать обоснованные решения, адаптированные к конкретным условиям, и будут способствовать устойчивому развитию аграрного сектора. **Объект.** Объектом исследований являлись яровая пшеница и ячмень. **Материалы и методы.** Экспериментальные работы проводились на опытном участке отдела земледелия и технологий возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновского научно-исследовательского института сельского хозяйства, являющегося филиалом СамНЦ РАН. Планирование и проведение опытов выполнено в соответствии с общепринятыми методиками. **Результаты и выводы.** Применение стартовых норм минеральных удобрений ($N_{40-60}P_{20-30}K_{20-30}(S_{6-9})$) в сочетании с листовой подкормкой ЖКУ в дозе 50 кг/га в фазу кущения, благодаря увеличению озерненности колоса и его массы, обеспечило получение дополнительно 0,88-0,95 т/га зерна (37,3-40,3 % к контролю). Проведение внекорневой подкормки ЖКУ (д.в. $N_{11}P_{37}$) в дозе 50 кг/га в фазе кущения культуры в среднем по фону способствовало приросту урожая 0,14 т/га (+4,8 % к контролю). Увеличение дозы ЖКУ до 150 кг/га было неэффективным. Ячмень проявил большую отзывчивость к листовым подкормкам ЖКУ по сравнению с яровой пшеницей. На данных фонах продуктивная кустистость выросла на 3,1-8,7 %, длина колоса – на 1,4-4,3 %, озерненность колоса – на 3,6-11,4 %, масса зерна с колоса – на 5,1-14,1 % и масса 1000 зерен – на 2,9-4,2 %. В среднем по фонам листовой подкормки (в дозе 50 и 150 кг/га) урожайность ячменя увеличилась на 0,25-0,61 т/га (8,5-20,7 % к контролю без подкормки). В среднем по минеральному агрофону наибольшая урожайность ячменя получена при внесении $N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$ – 3,93 т/га (+1,3 т/га или +49,4 % к контролю), что обусловлено увеличением длины колоса на 10,1 %, озерненности колоса на 17,4 %, массы зерна с колоса на 27,0 %, массы 1000 зерен на 6,4 % к контролю.

Ключевые слова: *урожайность зерновых культур, масса 1000 зерен, подкормки зерновых культур, листовые подкормки зерновых культур.*

Цитирование. Кузина Е. В., Никифорова С. А. Эффективность минеральных удобрений и листовой подкормки в повышении урожайности ячменя и яровой пшеницы. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 211-218. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-23.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Агропромышленный комплекс Российской Федерации стремится к повышению эффективности производства зерновых культур, одной из важнейших задач которого является увеличение урожайности ячменя и яровой пшеницы. Эти культуры занимают значительные площади в структуре посевов и играют ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны [1, 2, 3]. Традиционные методы внесения удобрений, такие как основное и предпосевное, безусловно, вносят свой вклад в формирование урожая, однако требуют поиска более точных и эффективных подходов при возделывании культур по технологии прямого посева [4, 5, 6].

В агрономической практике сохраняется немало ошибочных представлений относительно систем питания растений. Нередко фермеры считают, что применение листовых подкормок оправдано лишь в рамках интенсивных технологий возделывания. Однако в ситуации, когда хозяйство не применяет полный комплекс интенсивных технологий, а ограничивается минимальной или даже нулевой обработкой почвы, традиционного внесения удобрений одновременно с посевом культуры становится недостаточно [7, 8, 9, 10]. При этом спектр доступных способов внесения удобрений существенно сужается по сравнению с традиционной вспашкой. В данном контексте стартовое внесение удобрений и листовые

подкормки представляют собой перспективные элементы технологии, способные значительно увеличить потенциал урожайности, оптимизировать использование питательных веществ и снизить негативное воздействие на окружающую среду [11, 12, 13, 14].

В условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья нормы и схемы внесения питательных элементов должны регулироваться в зависимости от уровня влажности почвы. При недостатке влаги в засушливую погоду использование гранулированных удобрений по стерне теряет свою эффективность, из-за чего основной упор следует делать на локальное внесение сложных удобрений непосредственно во время посева, а также на использование жидких комплексных удобрений для подкормок на протяжении всего вегетационного периода. Такой подход предполагает учет потребностей возделываемой культуры, свойств почвенно-климатической среды и особенностей используемой системы обработки почвы [15, 16, 17]. Поэтому целью данного исследования является оценка эффективности применения минеральных удобрений и листовых подкормок для повышения урожайности яровой пшеницы и ячменя при возделывании по технологии прямого посева.

Материалы и методы. Научно-исследовательская работа проводилась на опытном поле отдела земледелия Ульяновского НИИСХ – филиала СамНЦ РАН на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом.

Схема двухфакторного полевого опыта включает: фактор А (норма минеральных удобрений, кг/га д.в.): A_0 – контроль (без удобрений); A_1 – $N_{40}P_{20}K_{20}$ (S_6); A_2 – $N_{60}P_{30}K_{30}$ (S_9); A_3 – $N_{80}P_{40}K_{40}$ (S_{12}); фактор В (доза листовой подкормки): B_0 – без подкормки; B_1 – ЖКУ 50 кг/га; B_2 – ЖКУ 150 кг/га.

В опыте изучались азотно-фосфорно-калийное серосодержащее удобрение с содержанием действующего вещества $N_{10}P_{20}K_{20}(S_6)$ в качестве рядкового удобрения, аммиачная селитра (д.в. N_{34}, вносилась в фазе начала кущения зерновых культур разбросным методом), а также жидкое азотно-фосфорное удобрение (ЖКУ) с содержанием действующего вещества $N_{11}P_{37}$, применяемое для внекорневой подкормки в фазу кущения изучаемых культур.

Изучаемые культуры возделывались по технологии прямого посева. Сев проводили сеялкой «Десна-Полесье» СПС-4000 в агрегате с трактором МТЗ-1221. Глубина заделки семян 4-5 см. Нормы высева изучаемых культур: яровая пшеница Никон, 5 млн всхожих семян/га; ячмень Прерия, 4,5 млн всхожих семян/га. Внесение удобрений проводилось согласно схеме опыта.

Схема севооборота: соя – яровая пшеница – лен – ячмень яровой. Севооборот развернут в пространстве на 4 блоках по количеству полей.

Параметры делянки: длина – 16 м, ширина – 9 м. Общая площадь делянки 144 м^2, учетная – 96 м^2. Площадь опытного участка 5 га. Общее количество вариантов на 1 культуре – 12, делянок – 36 шт., в севообороте – 144 шт. Делянки в опыте размещены систематически методом наложения, повторность трехкратная.

До начала посевных работ проводилась обработка глифосатом в дозе 3 л/га опрыскивателем ОП-3000.

Уход за посевами включал полную систему защиты растений. После появления всходов, для лечебного и профилактического действия, посевы пшеницы и ячменя были обработаны баковой смесью фунгицида и инсектицида (Титул Дуо, 0,25 л/га + Атрикс, 0,15 л/га), а также гербицидами (Пришанс, 0,5 л/га + Шансюген, 0,8 л/га).

Структура урожая изучаемых культур определялась в отобранных снопах с закрепленных площадок. Учет урожая изучаемых культур проводили путем сплошного обмолота всей массы с учетной делянки комбайном Сампо-500. Данные по учету приводились к 100 % чистоте (ГОСТ 12037-81) и 14 % влажности (ГОСТ 27548-97).

Результаты и обсуждение. Сноповой анализ яровой пшеницы показал, что коэффициент продуктивной кустистости на опытных вариантах находился в пределах 1,19-1,22 в зависимости от норм вносимых удобрений, что превышало значения в контрольном варианте (где кустистость составляла 1,05-1,12) на 13,3-8,9 % (таблица 1). Применение внекорневой подкормки, независимо от дозы внесения, не оказывало существенного воздействия на продуктивную кустистость: её показатели на изучаемых фонах находились на одном уровне.

Несмотря на то что внесение жидкого комплексного удобрения в дозе 50 кг/га практически не повлияло на способность растений к продуктивному кущению, оно существенно отразилось на других ключевых морфологических параметрах яровой пшеницы. Так, отме-

чено увеличение длины колоса, числа зерен в нем и их массы, особенно при ее совместном применении на фоне минеральных удобрений в норме $N_{40}P_{20}K_{20}(S_6)$ и $N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$. Это свидетельствует о том, что внекорневая подкормка в указанной дозе, вероятно, способствует более эффективному перераспределению питательных веществ к репродуктивным органам, что благоприятно влияет на формирование урожайности. При этом внесение ЖКУ в повышенной дозе (150 кг/га) не вызвало дальнейшего увеличения показателей элементов структуры урожая.

Применение минеральных удобрений в норме $N_{40}P_{20}K_{20}(S_6)$ и $N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$ в сочетании с листовой подкормкой ЖКУ в дозе 50 кг/га способствовало формированию зерна с наибольшей массой 1000 зерен (34,4-35,2 г; на контроле – 32,8 г). Анализ влияния некорневой подкормки на массу 1000 зерен показал схожую тенденцию. Наибольший эффект был достигнут при совмещении оптимальных доз удобрений, внесенных перед посевом, с внекорневой подкормкой ЖКУ в дозе 50 кг/га. Увеличение дозы некорневой подкормки до 150 кг/га не приводило к статистически значимому увеличению массы 1000 зерен, что может указывать на достижение предельного уровня усвоения питательных веществ растениями в конкретных условиях. Возможно, превышение оптимальной концентрации питательных веществ в растворе для некорневой подкормки приводило к ингибированию абсорбции через листовую поверхность или к нарушению метаболических процессов в растении.

Таблица 1 – Показатели элементов структуры урожая яровой пшеницы
Table 1 – Indicators of the elements of the structure of the spring wheat crop

Вариант / Option	Кол-во продукт. стеблей, шт./м^2 / Number of productive stems, pcs./m^2	Коэффициент кущения / Tiller ratio	Длина колоса, см / Ear length, cm	Кол-во зерна в колосе, шт. / Number of grains in the ear, pcs.	Масса зерна с 1 колоса, г / Grain weight per ear, g	Масса 1000 семян, г / Weight of 1,000 seeds, g
А0	458,0	1,09	5,8	20,1	0,61	32,8
А1	454,0	1,19	7,1	25,8	0,89	34,3
А2	456,5	1,19	6,4	25,9	0,90	35,1
А3	451,5	1,20	6,4	24,9	0,84	33,9
Ср.	454,8	1,16	6,4	24,2	0,81	34,0
А0	460,0	1,05	6,1	22,7	0,73	33,1
А1	460,5	1,19	6,7	26,5	0,90	34,4
А2	455,5	1,20	6,9	26,6	0,92	35,2
А3	454,0	1,20	6,3	25,3	0,86	34,1
Ср.	457,5	1,16	6,5	25,3	0,85	34,2
А0	455,5	1,12	7,1	20,7	0,70	33,6
А1	454,5	1,20	7,0	25,7	0,85	34,0
А2	450,0	1,22	6,5	25,8	0,88	34,4
А3	455,5	1,20	6,7	24,7	0,80	33,5
Ср.	453,8	1,18	6,8	24,2	0,81	33,9
$НСР_{0,5}$	A-$F_ф < F_{0,5}$ B-$F_ф < F_{0,5}$ AB-$F_ф < F_{0,5}$	A-0,03 B-0,03 AB-0,05	A-0,24 B-0,12 AB-0,24	A-0,50 B-0,44 AB-0,87	A-0,04 B-0,03 AB-0,06	A-0,09 B-0,07 AB-0,15

Применение минеральных удобрений в норме $N_{40}P_{20}K_{20}(S_6)$ и $N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$ способствовало увеличению продуктивности яровой пшеницы за счет увеличения или повышения количества зерен в колосе и их массы. Средний показатель урожайности на этих вариантах составил 3,17 и 3,22 т/га, что выше контроля на 0,71-0,76 т/га (на 28,9-30,9 %) (таблица 2). При этом увеличение нормы удобрений до $N_{80}P_{40}K_{40}(S_{12})$ обеспечило получение лишь 0,48 т/га прибавки урожая (или 19,5 % к контролю).

Применение внекорневой подкормки жидкими комплексными удобрениями (ЖКУ) в дозе 50 кг/га в среднем по фону обеспечило формирование урожайности яровой пшеницы на уровне 3,07 т/га, что на 0,14 т/га (или на 4,8 %) выше контроля (фона без применения подкормки). Повышение дозы ЖКУ до 150 кг/га не приводило к дополнительному приросту урожайности яровой пшеницы.

Таблица 2 – Влияние минеральных удобрений и листовой подкормки на урожайность яровой пшеницы, т/га
Table 2 – The effect of mineral fertilizers and leaf top dressing on the yield of spring wheat, t/ha

Норма минеральных удобрений, кг/га д.в. / The rate of mineral fertilizers, kg/ha of active ingredients	Доза ЖКУ NP 11:37, кг/га (фактор В) / Dose of NP 11:37, kg/ha (factor B)			Среднее по фактору А / Average by factor A	+/- к контролю / +/- to the control	
	0	50	150		т/га / t/ha	%
Контроль / Control	2,36	2,64	2,38	2,46	-	-
$N_{40}P_{20}K_{20}(S_6)$	3,21	3,24	3,05	3,17	+0,71	+28,9
$N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$	3,26	3,31	3,09	3,22	+0,76	+30,9
$N_{80}P_{40}K_{40}(S_{12})$	2,91	3,08	2,82	2,94	+0,48	+19,5
Среднее по фактору В / Average by factor B	2,93	3,07	2,83			
+/- к контролю / +/- to the control	-	+0,14 (+4,8%)	-0,1 (-3,4%)			
$НСР_{0,5}$	A-0,08; B-0,07; AB- 0,14, p=1,67					

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что при возделывании яровой пшеницы по технологии прямого посева на черноземе выщелоченном оптимальное сочетание внесения минеральных удобрений в норме $N_{40\text{-}60}P_{20\text{-}30}K_{20\text{-}30}(S_{6\text{-}9})$ и внекорневой подкормки ЖКУ в дозе 50 кг/га является эффективным способом повышения урожайности яровой пшеницы.

Превышение оптимальной дозы ЖКУ может приводить к ожогам листьев и ухудшению фотосинтеза, что, в свою очередь, негативно сказывается на урожайности яровой пшеницы. Важно учитывать, что внекорневая подкормка является лишь дополнением к основному питанию растений и не может полностью компенсировать недостаток питательных веществ в почве.

Ячмень проявил большую отзывчивость по сравнению с яровой пшеницей на внесение листовых подкормок ЖКУ в изучаемых дозах. Продуктивная кустистость на этих фонах увеличивалась на 3,1-8,7 %, длина колоса, число зерен в нем и их масса соответственно на 1,4-4,3 %, 3,6-11,4 и 5,1-14,1 %. Возрастала масса 1000 зерен на 2,9-4,2 % (таблица 3). Это способствовало увеличению продуктивности культуры на 0,25-0,61 т/га, что эквивалентно 8,5-20,7 % по сравнению с контролем, где подкормка не проводилась ($НСР_{05}$ = 0,09 т/га).

Таблица 3 – Показатели элементов структуры урожая ярового ячменя
Table 3 – Indicators of the elements of the structure of the spring barley crop

Вариант / Option	Кол-во растений, шт./м^2 / Number of plants, pcs./m^2	Кол-во продукт. стеблей, шт./м^2 / Number of product. stems, pcs./m^2	К кущ. / Number of plants, pcs.	Длина колоса, см / Ear length, cm	Кол-во зерна в колосе, шт. / Number of grains in the ear, pcs.	Масса зерна с 1 колоса, г / Weight of grain from 1 ear, g	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g
B0							
A0	350,5	420,0	1,20	7,3	14,8	0,66	45,6
A1	344,0	430,0	1,25	7,2	17,9	0,83	48,3
A2	354,0	507,0	1,43	7,4	18,1	0,90	48,6
A3	347,5	423,0	1,22	6,3	15,7	0,72	47,2
Ср.	349,0	445,0	1,27	7,0	16,6	0,78	47,4
B1							
A0	379,0	423,0	1,11	6,7	15,6	0,74	46,5
A1	343,5	440,5	1,28	7,0	17,6	0,86	49,8
A2	352,5	509,0	1,44	7,8	18,5	0,91	50,4
A3	341,5	481,0	1,41	7,1	17,1	0,79	48,6
Ср.	354,1	463,4	1,31	7,1	17,2	0,82	48,8
B2							
A0	324,5	428,0	1,32	6,8	17,8	0,83	48,3
A1	316,5	455,0	1,44	7,4	17,9	0,87	50,1
A2	332,5	472,5	1,42	7,6	20,1	1,02	50,6
A3	320,0	432,0	1,35	7,5	18,1	0,85	48,7
Ср.	323,4	446,9	1,38	7,3	18,5	0,89	49,4
$НСР_{0,5}$	A-4,0 B-3,5 AB-7,0	A-6,4 B-5,8 AB-11,0	A-0,03 B-0,03 AB-0,05	A-0,12 B-0,11 AB-0,22	A-0,28 B-0,24 AB-0,48	A-0,02 B-0,01 AB-0,02	A-0,59 B-0,51 AB-1,01

Среди изучаемых норм удобрений наиболее впечатляющие результаты в формировании структуры урожая по всем показателям были достигнуты при использовании $N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$. В частности, длина колоса на данном варианте увеличилась на 10,1 %, количество зерен в колосе и их масса возросли на 17,4 и 27,0 % соответственно. Также наблюдалось увеличение массы 1000 зерен на 6,4 % в сравнении с контролем. Именно этот вариант обеспечил получение наибольшей урожайности, достигнув значения 3,93 т/га в среднем по всем фонам подкормки, что на 1,3 т/га, или на 49,4 %, превышало контроль (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние минеральных удобрений и листовых подкормок на продуктивность ячменя, т/га
Table 4 – The effect of mineral fertilizers and leaf fertilizers on barley productivity, t/ha

Вариант припосевного внесения (А) / Pre-sowing application option (A)	Фон листовой подкормки ЖКУ (В) / Background of leaf feeding with liquid fertilizers (B)			Среднее по фактору А / The average of factor A	+/- к контролю / +/- to control	
	NP 0:0	NP 5,5:18,5	NP 16,5:55,5		т/га / t/ha	%
NPK(S) 0-0-0(0)	2,40	2,51	2,98	*2,63*	-	-
NPK(S) 40-20-20(6)	3,06	3,37	3,86	*3,43*	+0,8	30,4
NPK(S) 60-30-30(9)	3,82	3,80	4,16	*3,93*	+1,3	49,4
NPK(S) 80-40-40(12)	2,48	3,10	3,20	*2,93*	+0,3	11,4
Среднее по фактору В / The average of factor B	*2,94*	*3,19*	*3,55*			
+/- к контролю / +/- to control	-	+0,25 (8,5 %)	+0,61 (20,7 %)			
$НСР_{0,5}$	A-0,11; B-0,09; AB-0,19, p=2,08					

На вариантах, где применялись минеральные удобрения в норме $N_{40}P_{20}K_{20}(S_6)$ и $N_{80}P_{40}K_{40}(S_{12})$, прирост урожая составил: 0,80 и 0,30 т/га, что соответствует 30,4 и 11,4 %. Значимость этих изменений не вызывает сомнений, так как прибавки уверенно превышали установленные значения ($НСР_{05}$ = 0,11 т/га), подчеркивая эффективность даже более умеренных доз.

Заключение. Применение минеральных удобрений при возделывании ячменя по технологии прямого посева в почвенно-климатических условиях лесостепи Среднего Поволжья в норме $N_{60}P_{30}K_{30}(S_9)$ оказало существенное влияние на элементы структуры урожая, обеспечив увеличение длины колоса на 10,1 %, озерненности колоса на 17,4 %, массы зерна с колоса на 27,0 %, а также массы 1000 зерен на 6,4 %, что привело к формированию урожайности зерна на уровне 3,93 т/га (или на 49 % выше контроля). При этом сочетание указанной дозы минеральных удобрений с листовой подкормкой ЖКУ в дозе 150 кг/га обеспечило наибольшую урожайность ячменя – 4,16 т/га.

При возделывании яровой пшеницы по сходной технологии наибольшая эффективность отмечена при внесении минеральных удобрений в нормах $N_{40\text{-}60}P_{20\text{-}30}K_{20\text{-}30}(S_{6\text{-}9})$ с последующей некорневой подкормкой в фазу кущения ЖКУ (с содержанием действующего вещества $N_{11}P_{37}$) в дозе 50 кг/га (рабочий раствор 1:5), что привело к получению 3,24-3,31 т/га зерна (дополнительно 0,84 и 0,91 т/га (35,0 и 37,9 %) к контролю), что обусловлено увеличением морфобиометрических показателей структуры урожая (длины колоса, числа зерен и их массы).

Листовая подкормка растений яровой пшеницы ЖКУ ($N_{11}P_{37}$) показала эффективность лишь при норме внесения 50 кг/га. В этом случае была зафиксирована достоверная прибавка урожая, в среднем по фону она составила 0,14 т/га. Повышение дозировки удобрения до 150 кг/га не привело к последующему росту продуктивности. По сравнению с яровой пшеницей ячмень лучше реагировал на внесение листовых подкормок жидкими комплексными удобрениями как в дозе 50 кг/га, так и 150 кг/га. На этих фонах урожайность культуры выросла на 0,25-0,61 т/га, что соответствует 8,5-20,7 % по сравнению с фоном без подкормки.

Conclusions. The application of NPK(S) 60-30-30(9) simultaneously with the sowing of barley had a significant positive effect on the crop structure: the length of the ear increased by 10.1 %, the number of grains in the ear increased by 17.4 %, their total weight – by 27.0 %, and the mass of 1000 grains – by 6.4 %. This resulted in a maximum yield of 3.93 t/ha, which is 49.4 % higher than in the control.

The optimal combination of applying NPK(S) before sowing at doses of 40-20-20(6) and 60-30-30(9) kg/ha followed by foliar top dressing NP 5.5:18.5 allowed to achieve maximum productivity of spring wheat. The yield obtained in these variants (3.17 and 3.22 t/ha) turned out to be 28.9-30.9 % higher than the control indicator, which was due to an increase in the length of the ear, the number of grains and their weight.

Thus, the research results demonstrate a significant effect of foliar fertilization and application of mineral fertilizers during sowing on the yield of spring wheat and barley. Optimization of plant nutrition, achieved through the use of LCCs and balanced application of NPK(S), can significantly increase crop productivity. However, it is important to take into account that exceeding the optimal fertilizer dosages can lead to a decrease in yield, as was noted in the case of spring wheat with an increase in the concentration of LC.

Comparing the effectiveness of different fertilizer applications allows us to conclude that a differentiated approach to the nutrition of spring wheat and barley is necessary. The optimal strategy for increasing yields includes both the application of mineral fertilizers during sowing and foliar fertilization during the growing season. At the same time, it is necessary to take into account the specifics of each crop and select the optimal dosages and proportions of fertilizers based on specific conditions.

Библиографический список

1. Носкова Е. В. Действие систем обработки почвы и удобрений на агрохимические показатели плодородия и урожайность яровой пшеницы. Вестник АПК Верхневолжья. 2020. № 4 (52). С. 17-22.
2. Денисов К. Е., Гераскина А. А., Никитин А. Н., Кондаков К. С. Оценка эффективности применения минеральных и микробиологических удобрений для повышения качества зерна яровой твердой пшеницы. Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 10-15.
3. Минченко Ж. Н., Лазарев В. И. Эффективность применения удобрений с микроэлементами в посевах ярового ячменя в условиях Курской области. Агрохимия. 2023. № 8. С. 29-37.
4. Khanal P., Sah S. K., Acharya M., Marahatta S., and Neupane M. P. Precision nitrogen management in wheat at Rampur, Chitwan, Nepal: effects on yield and nutrient-use efficiency. J. Agric. Environ. 2023. No 23.
5.Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Влияние минеральных удобрений на урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 2. С. 239-247.
6. Бабунов А. Б., Бадин А. Е. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество ярового ячменя Саншайн, а также вынос элементов питания. Достижения науки и техники АПК. 2018. № 8. С. 32-34.
7. Волынкина О. В. Урожайность яровой пшеницы и качество зерна при эффективном применении минеральных удобрений. Агрохимия. 2024. № 8. С. 27-36.
8. Гаврилова А. Ю., Конова А. М., Самсонова Н. Е. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на формирование урожайности и качества зерна пивоваренного ячменя в Центральном Нечерноземье. Агрохимия. 2020. № 9. С. 24-31.
9. Баушева Н. П., Халистова И. Д. Влияние систем удобрений на урожайность и качество яровой пшеницы. Вестник АПК Верхневолжья. 2019. № 4 (48). С. 7-10.
10. Kumar S., Singh S. S., Meena M. K. et al. Impact of conservation tillage on soil biological health, carbon sequestration, and yield in cereal-based systems: a meta-analysis. Soil and Tillage Research. 2024. Vol. 235. Art. 105887.
11. Кузина Е. В. Влияние способов основной обработки почвы и фонов питания на продуктивность культур севооборота. Пермский аграрный вестник. 2017. № 4 (20). С. 75-80.
12. Fagodiya R. K., Singh A., Singh R., Rani S., Kumar S., Rai A. K. et al. The food-energy-water-carbon nexus of the rice-wheat production system in the western Indo-Gangetic Plain of India: the impact of irrigation system, conservation tillage, and residue management. Science. Total Environ. 2023. V. 860. Art. 160428.
13. Иванова О. М. Применение различных видов минеральных удобрений на ячмене в условиях Тамбовской области. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 4. С. 132-136.
14. Harasim E., Antonkiewicz J., Kwiatkowski C. A. The effects of catch crops and tillage systems on selected physical properties and enzymatic activity of loess soil in a spring wheat monoculture. Agronomy. 2020. Vol. 10. Art. 334.
15. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Эффективность технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 4. С. 636-645.
16. Кузина Е. В. Влияние способов основной обработки почвы и фонов питания на продуктивность культур севооборота. Вестник казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 28-33.
17. Смуров С. И., Наумкин В. Н., Ермолаев С. Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания. Вестник Аграрной науки. 2020. № 2. С. 36-44.

References

1. Noskova E. V. The effect of tillage systems and fertilizers on agrochemical fertility indicators and yield of spring wheat. Bulletin of the Agricultural and industrial Complex of the Upper Volga region. 2020. No. 4 (52). Pp. 17-22.
2. Denisov K. E., Geraskina A. A., Nikitin A. N., Kondakov K. S. Evaluation of the effectiveness of the use of mineral and microbiological fertilizers to increase the quality of spring durum wheat grain. Agricultural scientific journal. 2023. No 5. Pp. 10-15.
3. Minchenko Zh. N., Lazarev V. I. The effectiveness of fertilizers with trace elements in spring barley crops in the Kursk region. Agricultural chemistry. 2023. No 8. Pp. 29-37.
4. Khanal P., Sah S. K., Acharya M., Marahatta S., and Neupane M. P. Precision ni-trogen management in wheat at Rampur, Chitwan, Nepal: effects on yield and nutrient-use efficiency. J. Agric. Environ. 2023. No 23.
5. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Effect of mineral fertilizers on the yield of spring wheat varieties in the conditions of the Central Non-Chernozem Region. Agricultural Science Euro-North-East. 2022. No 23 (2). Pp. 239-247.
6. Babunov A. B., Baden A. E. The effect of mineral fertilizers on the yield and quality of Sunshine spring barley, as well as the removal of batteries. Achievements of science and technology of the agricultural and industrial complex. 2018. No. 8. Pp. 32-34.

7. Volinkina O. V. Yield of spring wheat and grain quality with effective application of mineral fertilizers. Agricultural chemistry. 2024. No. 8. Pp. 27-36.
8. Gavrilova A. Yu., Konova A. M., Samsonova N. E. The effect of doses and combinations of mineral fertilizers on the formation of yield and grain quality of malting barley in the Central Non-Chernozem region. Agricultural chemistry. 2020. No. 9. Pp. 24-31.
9. Bausheva N. P., Khalistova I. D. The influence of fertilizer systems on the yield and quality of spring wheat. Bulletin of the Agro-industrial complex of the Upper Volga region. 2019. No 4 (48). Pp. 7-10.
10. Kumar S., Singh S. S., Meena M. K. et al. Impact of conservation tillage on soil bio-logical health, carbon sequestration, and yield in cereal-based systems: a meta-analysis. Soil and Tillage Research. 2024. Vol. 235. Art. 105887.
11. Kuzina E. V. The influence of basic tillage methods and nutritional backgrounds on crop rotation productivity. Perm Agrarian Bulletin. 2017. No. 4 (20). Pp. 75-80.
12. Fagodiya R. K., Singh A., Singh R., Rani S., Kumar S., Rai A. K. et al. The food-energy-water-carbon nexus of the rice-wheat production system in the western Indo-Gangetic Plain of India: the impact of irrigation system, conservation tillage, and residue management. Sci. Total Environ. 2023. V. 860. Art. 160428.
13. Ivanova O. M. Application of various types of mineral fertilizers on barley in the conditions of the Tambov region. Leguminous and cereal crops. 2019. No. 4. Pp. 132-136.
14. Harasim E., Antonkiewicz J., Kwiatkowski C. A. The effects of catch crops and tillage systems on selected physical properties and enzymatic activity of loess soil in a spring wheat monoculture. Agronomy. 2020. Vol. 10. Art. 334.
15. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Efficiency of technologies for the use of mineral fertilizers when cultivating spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region. Agricultural Science Euro-North-East. 2023. No. 24 (4). Pp. 636-645.
16. Kuzina E. V. The influence of basic tillage methods and nutritional backgrounds on crop rotation productivity. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2021. V. 16. No. 1 (61). Pp. 28-33.
17. Smurov S. I., Naumkin V. N., Ermolaev S. N. Yield and quality of spring barley grain depending on various precursors and background of mineral nutrition. Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 2. Pp. 36-44.

Информация об авторах

Кузина Елена Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева – филиал ФГБНУ науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19), e-mail: elena.kuzina@autorambler.ru

Никифорова Светлана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева – филиал ФГБНУ науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19), e-mail: nikiforova11@yandex.ru

Authors' Information

Kuzina Elena Viktorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev – the branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky settlement, Institutskaya Str., 19), e-mail: elena.kuzina@autorambler.ru

Nikiforova Svetlana Aleksandrovna, Senior Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev – the branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk region, Ulyanovsk district, Timiryazevsky settlement, Institutskaya Str., 19), e-mail: nikiforova11@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-24

THE *PINUS SYLVESTRIS* L. – *P. NIGRA SUBSP. PALLASIANA* GENOTYPING BASED ON THE ISSR MARKERS

Kuzmin P. A., Romanova I. M., Lushnikova E. S.

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

Corresponding author E-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Received 23.04.2026 Submitted 15.07.2026

The research was carried out within the framework of the State assignment FNFE-2025-0007 "Genotyping of tree and shrub species resistant to environmental factors limiting growth and development".

Abstract

Introduction. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is one of the most widespread and economically important coniferous trees in Russia. Crimean pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) grows in Crimea, Transcaucasia, and the eastern part of the Balkan Peninsula. This species is the main coniferous introducer in the steppe zone of Russia. Genetic diversity is a key factor influencing the adaptability and resilience of Pinus populations, especially in the context of climate change. Assessing the genetic diversity and population structure of woody plants involves the use of molecular genetic methods, among which the ISSR method has become widely used. **Object.** *Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* J. F. Arnold

subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. **Materials and methods.** Samples were collected in 2025. To analyze the intraspecific genetic diversity of *P. sylvestris* and *P. nigra* subsp. *pallasiana*, four populations were selected from three different regions of the Volgograd region, Stavropol region, and the Republic of Kalmykia. Genomic DNA was isolated from needles using CTAB with the addition of 2 % β-mercaptoethanol. A commercial 5X qPCRmix-HS reaction mixture kit (Eurogen, Russia) was used for DNA amplification in the Applied Biosystems Quant Studio 5 system. A 1.8 % agarose gel containing ethidium bromide was used to separate the PCR products. The results of electrophoretic separation were recorded using the iBright CL1500 gel-documenting system. The values of the information content of polymorphism (PIC) and the parameters of intrapopulation variability were calculated using the POPGENE software application version 1.31. **Results and conclusions.** 14 inter-microsatellite primers were selected for the genetic analysis of the studied populations of two species of the genus *Pinus*. The PIC value ranged from 0.326 to 0.394 in *P. sylvestris* populations, and from 0.360 to 0.408 in *P. nigra* subsp. *pallasiana*. The highest percentage of polymorphism in *P. sylvestris* species was 68.0 % in the Ps-4 population, and the lowest was 50.0 % in Ps-1. In the species *P. nigra* subsp. *pallasiana* had the highest percentage of polymorphism at 61.5 % in the Pn-4 population, and the lowest at 50.8 % in Pn-1. The n_a index in *P. sylvestris* was in the range 1,500-1,680, in *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1,508-1,615. The n_e index in *P. sylvestris* was in the range of 1.246-1.356, in *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1.268-1.301, which indicates a balanced distribution of alleles and there is no pronounced dominance of individual genotypes. Analyzed *P. sylvestris* in the Republic of Kalmykia has high values of intrapopulation genetic diversity in comparison with other studied populations of P*. sylvestris* native to the Stavropol Region and the Volgograd Region. Among the populations of *P. nigra* subsp. *pallasiana*, the highest values of genetic diversity are found in the Steppe forestry of the Stavropol Region.

Keywords: *Pinus sylvestris L., Pinus nigra J. F. Arnold subsp. pallasiana* (*Lamb.*) Holmboe*, ISSR primers, coniferous trees, pine populations.*

Citation. Kuzmin P. A., Romanova I. M., Lushnikova E. S. The *Pinus sylvestris* L. – *P. nigra subsp. pallasiana* genotyping based on the ISSR markers. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 218-228 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-24.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. In this experiment, all authors took part in the planning, execution, and analysis of the research results. The presented version of the article has been approved by all authors.
Conflicts of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 575.86:582.736

ГЕНОТИПИРОВАНИЕ *PINUS SYLVESTRIS* L. – *P. NIGRA* SUBSP. *PALLASIANA* НА ОСНОВЕ ISSR-МАРКЕРОВ

Кузьмин П. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Романова И. М., *младший научный сотрудник*
Лушникова Е. С., *инженер-исследователь*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа проводилась в рамках Государственного задания FNFE-2025-0007 «Генотипирование древесных и кустарниковых пород устойчивых к ограничивающим рост и развитие факторам внешней среды».

Актуальность. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – одно из самых распространённых и экономически важных хвойных деревьев в России. Сосна крымская (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) произрастает в Крыму, Закавказье и восточной части Балканского полуострова. Данный вид является основным хвойным интродуцентом в степной зоне России. Ключевым фактором, влияющим на адаптивность и устойчивость популяций рода *Pinus*, особенно в условиях изменения климата является генетическое разнообразие. Оценка генетического разнообразия и популяционной структуры древесных растений включает в себя использование молекулярно-генетических методов, среди которых значительное распространение получил метод ISSR. **Объект.** *Pinus sylvestris L., Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. **Материалы и методы.** Образцы собраны в 2025 году. Для анализа внутривидового генетического разнообразия *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana* отобраны 4 популяции из 3 разных регионов Волгоградской области, Ставропольского края и Республики Калмыкия. Геномную ДНК выделяли из хвои с использованием CTAB с добавлением 2 % β-меркаптоэтанола. Для амплификации ДНК в системе Applied Biosystems Quant Studio 5 использован коммерческий набор реакционной смеси 5X qPCRmix-HS (Евроген, Россия). Для разделения продуктов ПЦР использовался 1,8 %-ный агарозный гель, содержащий бромид этидия. Регистрацию результатов электрофоретического разделения проводили с использованием гель-документирующей системы iBright CL1500. Были рассчитаны значения информационного со-

держания полиморфизма (PIC) и параметры внутрипопуляционной изменчивости с помощью программного приложение POPGENE версии 1.31. **Результаты и выводы.** Для генетического анализа исследуемых популяций двух видов рода *Pinus* отобраны 14 межмикросателлитных праймеров. Значение PIC варьировалось от 0,326 до 0,394 у популяций *P. sylvestris, у P. nigra* subsp. *pallasiana* – от 0,360 до 0,408. Наибольший процент полиморфности у вида *P. sylvestris* составлял 68,0 % в популяции Ps-4, а наименьший – 50,0 % в Ps-1. У вида *P. nigra* subsp. *pallasiana* наибольший процент полиморфности составлял 61,5 % в популяции Pn-4, а наименьший – 50,8 % в Pn-1. Показатель n_a у *P. sylvestris* находился в пределах 1,500-1,680, у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1,508-1,615. Показатель n_e у *P. sylvestris* находился в диапазоне 1,246-1,356, у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1,268-1,301, что указывает на сбалансированное распределение аллелей и не наблюдается выраженное доминирование отдельных генотипов. Анализируемая *P. sylvestris* на территории Республики Калмыкия, имеет высокие значения показателей внутрипопуляционного генетического разнообразия в сравнении с другими изучаемыми популяциями *P. sylvestris,* произрастающими на территории Ставропольского края и Волгоградской области. Среди популяций *P. nigra* subsp. *pallasiana* наиболее высокими значениями показателей генетического разнообразия обладает насаждение в Степном лесничестве Ставропольского края.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris L., Pinus nigra J. F. Arnold subsp. pallasiana (Lamb.) Holmboe, ISSR-маркеры, хвойные деревья, популяции сосны.*

Цитирование. Кузьмин П. А., Романова И. М., Лушникова Е. С. Генотипирование *Pinus sylvestris* L. – *P. nigra* subsp. *pallasiana* на основе ISSR-маркеров. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 218-228. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-24.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Глобальное изменение климата, вызванное антропогенными факторами, является одной из наиболее серьезных угроз для биологического разнообразия планеты [1]. Глобальный характер изменения климата подтверждается нарушениями режима осадков и колебаниями температуры приземного воздуха, отмечаемыми во всех природных зонах [2]. Потепление климата приводит к деградации почв и учащению экстремальных погодных явлений, что представляет значительную опасность для устойчивости природных систем [3, 4]. Лесомелиорация деградированных территорий способна остановить многие негативные природные последствия [5]. Лесные экосистемы обладают самым высоким уровнем биоразнообразия на суше и играют ключевую роль в поддержании экологического баланса. Защитные лесные насаждения хвойных пород деревьев оказывают положительное воздействие на территории с засушливым климатом и выраженными деградационными процессами земель [6]. В сложившихся условиях сохранение биологического разнообразия лесов как основы стабильности экосистем становится важнейшей научной задачей, ключевым аспектом которой является сбережение генетических ресурсов ценных видов древесных растений [7]. Таким образом, необходимо изучение генетической изменчивости популяций хвойных пород для выявления наиболее жизнеспособных форм, пригодных для лесовосстановления в условиях меняющегося климата [8].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – одно из самых распространённых и экономически важных хвойных деревьев в России [9]. Данный долгоживущий, засухоустойчивый, теневыносливый вид относится к главным лесообразующим породам в России и в Евразии [10, 11, 12]. *P. sylvestris* способствует защите почв от эрозии и сдерживает деградацию природных ландшафтов [13]. Это хвойное дерево относится к ценным лесообразующим породам и широко используется в лесоразведении, прежде всего в засушливых регионах на песчаных почвах [14].

Сосна крымская (*Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) произрастает в Крыму, Закавказье и восточной части Балканского полуострова [15]. Данный вид является основным хвойным интродуцентом в степной зоне России [16]. Сегодня *P. nigra* subsp. *pallasiana* встречается в Волгоградской, Ростовской, Воронежской и других областях страны [17]. Благодаря таким качествам, как нетребовательность к почвенным условиям, устойчивость к засухе и морозам до -30 °С, относительная быстрота роста и долговечность, эта порода получила широкое распространение в фитомелиоративных насаждениях на юге России [18].

Ключевым фактором, влияющим на адаптивность и устойчивость популяций рода *Pinus*, особенно в условиях изменения климата является генетическое разнообразие [19]. Оценка генетического разнообразия и популяционной структуры древесных растений включает в себя использование молекулярно-генетических методов, среди которых значительное распространение получил метод ISSR [20]. Данный метод основан на амплификации сегментов ДНК, которые расположены между двумя повторяющимися участками микросателлита [21]. Методы, основанные на полимеразной цепной реакции, позволяют эффективно оценивать внутривидовое и межвидовое разнообразие растений, при этом они не требуют наличия предварительных данных о последовательности генома [22]. Благодаря высокой воспроизводимости и полиморфизму ISSR-маркеры являются оптимальным инструментом для исследований на популяционном уровне [23].

ISSR-маркеры имеют ряд преимуществ перед другими современными неспецифичными маркерными методами [24, 25]. Они отличаются экономичностью, технической простотой использования, надежностью, воспроизводимостью и высокой разрешающей способностью [26, 27]. Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры популяций *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana* с использованием молекулярно-генетических методов открывает возможности для более рационального управления генетическими ресурсами в ходе реализации региональных селекционных программ на Юге России [28].

Цель исследования – анализ генетической структуры *Pinus sylvestris* и *Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe на основе ISSR-маркеров для оценки внутрипопуляционного генетического разнообразия.

Материал и методы. Образцы были собраны в 2025 году. Для анализа внутривидового генетического разнообразия *P. sylvestris* были отобраны 4 популяции из 3 разных регионов: Нижневолжская станция по селекции древесных пород – филиал ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоградская область; с. Ольховка, Волгоградская область; 2 дача 44 кв., с. Ачикулак, Ставропольский край; г. Элиста, Республика Калмыкия. Для анализа внутривидового генетического разнообразия *P. nigra* subsp. *pallasiana* отобраны 4 популяции из 3 регионов: Нижневолжская станция по селекции древесных пород – филиал ФНЦ агроэкологии РАН, Волгоградская область; г. Элиста, Республика Калмыкия, Степное лесничество, Ставропольский край; 3 дача 69 кв., с. Ачикулак, Ставропольский край.

Исследуемые популяции являются искусственными посадками, возраст которых примерно 50-55 лет. Образцы для генетического анализа собирались со старовозрастных особей, которые располагались на расстоянии не менее 50 м друг от друга. Отобранные для исследования особи имели хорошее жизненное состояние.

В таблице 1 приведены обозначения популяций *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana* и их местоположения.

Таблица 1 – Места произрастания *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana*, использованных в исследовании

Table 1 – The growth sites *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana* used in the study

Вид / Species	Популяция / Population	Регион / Region	Координаты / Coordinates
P. sylvestris	Ps-1	Волгоградская область / Volgograd region	50°05'00.3"N 45°21'29.0"E
	Ps-2	Волгоградская область / Volgograd region	49°38'52.6"N 44°20'07.6"E
	Ps-3	Ставропольский край / Stavropol region	44°32'27.5"N 45°04'38.6"E
	Ps-4	Республика Калмыкия / Republic of Kalmykia	46°15'22.6"N 44°12'40.1"E
P. nigra subsp. *pallasiana*	Pn-1	Волгоградская область / Volgograd region	50°04'53.2"N 45°21'35.6"E
	Pn-2	Республика Калмыкия / Republic of Kalmykia	46°15'26.5"N 44°12'33.8"E
	Pn-3	Ставропольский край / Stavropol region	44°28'55.6"N 45°09'36.9"E
	Pn-4	Ставропольский край / Stavropol region	44°29'11.8"N 45°08'57.1"E

Для каждого образца геномную ДНК выделяли из 30 мг хвои с использованием модифицированного метода экстракции CTAB с добавлением 2 % β-меркаптоэтанола [29]. Концентрацию и чистоту геномной ДНК измеряли с помощью прибора спектрофотометра Spectrostar Nano (BMG Labtech, Германия). Для оценки чистоты нуклеиновых кислот используется соотношение оптической плотности при 260 и 280 нм (A260/280).

Для амплификации ДНК в системе Applied Biosystems Quant Studio 5 (Thermo Fisher Scientific, США) был использован реакционный объём 25 мкл, содержащий 2 мкл матрицы ДНК (50 нг/мкл), 5 мкл готовой реакционной смеси 5X qPCRmix-HS (Евроген, Россия), 16 мкл воды, не содержащей нуклеаз (Евроген, Россия), и 2 мкл праймера. ПЦР-реакция начиналась с денатурации в течение 10 минут при 95 °C, затем следовали 40 циклов: денатурация в течение 30 секунд при 95 °C, отжиг в течение 30 секунд при 48,2-63,5 °C и последний этап цикла – 60 секунд при 72 °C, а также заключительный этап пролонгирования – 10 минут при 72 °C. Последовательности выбранных ISSR-праймеров и температура их отжига для полимеразной цепной реакции приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Праймеры, используемые для ISSR-анализа, их последовательность, значение Т отжига
Table 2 – Primers used for ISSR analysis, their sequence, annealing T value

Праймер / Primer	Последовательность 5′–3′ / Sequence 5′–3′	Температура отжига праймера, °C / Primer annealing temperature, °C
UBC815	(CT)8G	52,5
UBC823	(TC)8C	52,5
UBC826	(AC)8C	52,5
UBC836	(AG)8YA	52,5
UBC841	(GA)8YC	55,0
UBC850	(GT)8YC	55,0
UBC856	(AC)8YA	52,5
UBC873	(GACA)4	48,2
pin2	(CA)6AGCT	48,2
ISSR-1	(AC)8T	50,0
ISSR-3	(TG)8AA	50,5
ISSR-8	(GAG)6C	63,5
M1	(AC)8CG	56,3
X9	(ACC)6G	63,5
X10	(AGC)6C	63,5

Для разделения продуктов ПЦР использовали 1,8 %-ный агарозный гель, содержащий бромид этидия. ДНК-маркер Step50 plus (Biolabmix, Россия) применяли в качестве стандарта для оценки длины молекул ДНК. Электрофорез выполнялся при напряжении около 100 В в течение 90 минут в 1x TAE-буфере. Регистрацию результатов электрофоретического разделения проводили с использованием гель-документирующей системы iBright CL1500 (Thermo Fisher Scientific, США).

Для каждого праймера определяли число и диапазон амплифицированных фрагментов, учитывая при расчете только четкие и воспроизводимые ПЦР-полосы. Матрица данных была создана путем присвоения баллов за наличие (1) или отсутствие (0) полос каждой дорожке, на которую был нанесен продукт ПЦР. Для того чтобы охарактеризовать способность каждого ISSR-праймера выявлять полиморфные локусы, были рассчитаны значения информационного содержания полиморфизма (PIC).

Программное приложение POPGENE версии 1.31 использовалось для расчёта процента полиморфных локусов, генетического разнообразия (h) и индекса Шеннона (I).

Результаты и обсуждение. В ходе исследования были протестированы 15 праймеров ISSR, которые продемонстрировали способность давать чёткие и воспроизводимые полосы (таблица 1). Для генетического анализа исследуемых популяций двух видов рода *Pinus* было отобрано 14 межмикросателлитных праймеров. Праймер UBC823 был исключен, так как показал только 1 мономорфную ПЦР-полосу для вида *P. sylvestris* и 2 мономорфные полосы для вида *P. nigra* subsp. *pallasiana*. Пример электрофореграммы представлен на рисунке 1.

Таблица 3 – Характеристика праймеров, использованных в ISSR-анализе *P. sylvestris*
Table 3 – Characteristics of the primers used in the ISSR analysis of *P. sylvestris*

Праймер / Primer	Диапазон полос / Band range	TB	PB	MB	PIC
UBC815	420-1050	9	9	0	0,382
UBC826	380-1150	13	13	0	0,382
UBC836	400-1000	9	9	0	0,342
UBC841	320-900	7	7	0	0,334
UBC850	600-650	2	1	1	0,327
UBC856	460-800	8	7	1	0,357
UBC873	450-1500	10	10	0	0,342
ISSR-1	380-1000	9	7	2	0,332
ISSR-3	550-1000	6	6	0	0,327
ISSR-8	450-1400	9	7	2	0,329
M1	480-1050	8	7	1	0,326
X9	300-1050	14	14	0	0,387
X10	300-1050	14	14	0	0,394
Pin2	450-1100	9	8	1	0,381

Примечание. TB (total band) – общее количество амплифицированных фрагментов; PB (polymorphic band) – количество полиморфных фрагментов; MB (monomorphic band) – количество мономорфных фрагментов.
Note. TB (total band) – total number of amplified fragments; PB (polymorphic band) – number of polymorphic fragments; MB (monomorphic band) – number of monomorphic fragments.

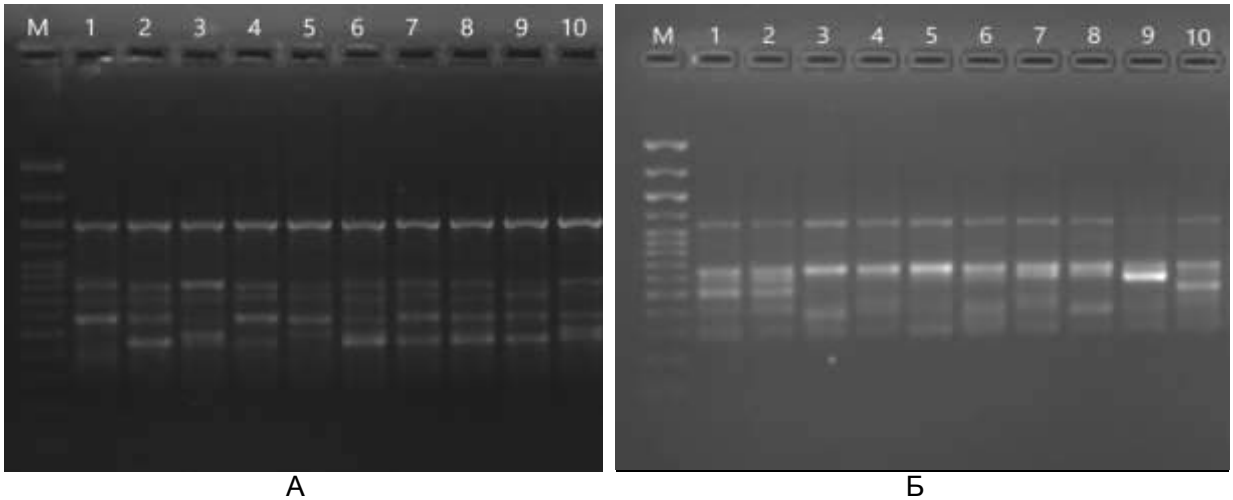
Таблица 4 – Характеристика праймеров, использованных в ISSR-анализе *P. nigra* subsp. *pallasiana*
Table 4 – Characteristics of the primers used in the ISSR analysis of *P. nigra* subsp. *pallasiana*

Праймер / Primer	Диапазон полос / Band range	TB	PB	MB	PIC
UBC815	420-1200	8	7	1	0,387
UBC826	380-1050	8	6	2	0,360
UBC836	400-1000	8	7	1	0,361
UBC841	400-950	11	11	0	0,386
UBC850	350-700	6	6	0	0,362
UBC856	450-900	8	7	1	0,372
UBC873	380-1200	8	6	2	0,360
ISSR-1	450-1000	9	8	1	0,368
ISSR-3	430-1100	8	7	1	0,361
ISSR-8	430-1300	7	4	3	0,377
M1	450-1300	12	12	0	0,397
X9	320-1000	12	11	1	0,403
X10	250-850	13	13	0	0,408
Pin2	420-1150	10	9	1	0,388

Примечание. TB (total band) – общее количество амплифицированных фрагментов; PB (polymorphic band) – количество полиморфных фрагментов; MB (monomorphic band) – количество мономорфных фрагментов.
Note. TB (total band) – total number of amplified fragments; PB (polymorphic band) – number of polymorphic fragments; MB (monomorphic band) – number of monomorphic fragments.

С использованием 14 ISSR-праймеров в общей сложности амплифицировано 127 различных фрагментов ДНК у 4 популяций *P. sylvestris,* из них полиморфных – 119, и 128 фрагментов ДНК у 4 популяций *P. nigra* subsp. *pallasiana,* из них полиморфных – 114. Наибольшее число локусов в спектре у *P. sylvestris* представили праймеры UBC826 (13), X9 (14) и X10 (14). У *P. nigra* subsp. *pallasiana* наибольшее количество локусов представили также праймеры M1 (12), X9 (12) и X10 (13). При использовании праймера UBC850 у вида *P. sylvestris* наблюдалось низкое число локусов в спектре (2), в то время как при использо-

вании этого же праймера у вида *P. nigra* subsp. *pallasiana* наблюдалось среднее количество локусов в спектре (6). Молекулярная масса полученных ПЦР-фрагментов у *P. sylvestris* находилась в диапазоне от 300 до 1400 п. н., у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – от 250 до 1300 п. н.



А Б

Рисунок 1 – Пример электрофореграммы ампликонов. На рисунке А – популяция *P. sylvestris*, с использованием праймера UBC873. На рисунке Б – популяция *P. nigra* subsp. *pallasiana*, с использованием праймера ISSR-3. М – маркер молекулярного веса ДНК Step50 plus (Biolabmix, Россия), 1-10 – исследуемые образцы

Figure 1 – Example of an amplificon electropherogram. Figure A shows the *P. sylvestris* population, using the UBC873 primer. Figure B shows the *P. nigra* subsp. *pallasiana* population, using the ISSR-3 primer. M is the Step50 plus DNA molecular weight marker (Biolabmix, Russia), and 1-10 are the samples under investigation

Выбранный набор межмикросателлитных ISSR-праймеров показал высокий уровень полиморфности. Доля выявляемых полиморфных ПЦР-фрагментов для вида *P. sylvestris* составила от 50 % до 100 %, в среднем – 90,7 %. Для вида *P. nigra* subsp. *pallasiana* доля полиморфных ПЦР-фрагментов колебалась от 75 % до 100 %, в среднем – 87,7 %.

В популяционно-генетических исследованиях значение PIC (информационного индекса полиморфизма) выступает в качестве одного из основных критериев оценки. Чем выше данный показатель, тем информативнее праймер для выявления генетической вариативности между исследуемыми образцами. В данном исследовании значение PIC варьировалось от 0,326 до 0,394 у популяций *P. sylvestris, у P. nigra* subsp. *pallasiana* – от 0,360 до 0,408. Высокие показатели PIC у *P. sylvestris* зафиксированы при использовании праймеров UBC815 (0,382), UBC826 (0,382), X9 (0,387) и X10 (0,394). У *P. nigra* subsp. *pallasiana* высокие показатели PIC наблюдались при использовании праймеров UBC815 (0,387), M1 (0,397), X9 (0,403) и X10 (0,408). Поскольку величина значения PIC для праймеров, использованных в настоящем исследовании, превысила 0,3, они доказывают свою информативность для популяционно-генетических исследований видов *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana*.

На основе бинарной матрицы были рассчитаны частоты аллелей ISSR-локусов, которые послужили основой для вычисления ключевых параметров генетической изменчивости: наблюдаемого числа аллелей на локус, эффективного числа аллелей, генного разнообразия, индекса Шеннона (таблица 5).

Количество полиморфных локусов, выявленных в каждой популяции *P. sylvestris*, варьировало в пределах от 64 до 87, у популяций *P. nigra* subsp. *pallasiana* – от 66 до 80. Наибольший процент полиморфности у вида *P. sylvestris* составлял 68,0 % в популяции Ps-4, а наименьший – 50,0 % в Ps-1. У вида *P. nigra* subsp. *pallasiana* наибольший процент полиморфности составлял 61,5 % в популяции Pn-4, а наименьший – 50,8 % в Pn-1.

Значения остальных параметров генетической изменчивости характеризовались высоким уровнем генетического разнообразия. Показатель n_a у *P. sylvestris* находился в пределах 1,500-1,680, у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1,508-1,615. Показатель n_e у *P. sylvestris* находился в диапазоне 1,246-1,356, у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1,268-1,301.

Данные показатели указывают на то, что в изучаемых популяциях прослеживается сбалансированное распределение аллелей и не встречается выраженное доминирование отдельных генотипов.

Таблица 5 – Параметры внутрипопуляционной изменчивости популяций *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana*
Table 5 – Parameters of intrapopulation and interpopulation variability of *P. sylvestris* and *P. nigra* subsp. *pallasiana*

Популяция / Population	n_a	n_e	H	I	TB	PPB, %
Ps-1	1,500±0,502	1,246±0,329	0,151±0,181	0,236±0,262	64	50,0
Ps-2	1,547±0,499	1,305±0,373	0,179±0,198	0,270±0,281	70	54,7
Ps-3	1,602±0,492	1,321±0,355	0,193±0,190	0,295±0,272	77	60,2
Ps-4	1,680±0,468	1,356±0,377	0,210±0,194	0,320±0,271	87	68,0
Pn-1	1,508±0,502	1,268±0,342	0,162±0,188	0,247±0,272	66	50,8
Pn-2	1,515±0,502	1,282±0,363	0,166±0,194	0,252±0,277	67	51,5
Pn-3	1,585±0,495	1,275±0,330	0,171±0,179	0,266±0,258	76	58,5
Pn-4	1,615±0,488	1,301±0,353	0,181±0,187	0,280±0,266	80	61,5

Примечание. n_a – наблюдаемое число аллелей на локус; n_e – эффективное число аллелей; H – генное разнообразие по Нею; I – индекс Шеннона; TB (total band) – общее количество амплифицированных фрагментов; PPB (%) (percentage polymorphic band) – процент полиморфности популяции.
Note. n_a – observed number of alleles per locus; d number of alleles per locus; n_e – effective number of alleles; H – gene diversity according to Ney; I – Shannon index; TB (total band) – total number of amplified fragments; PPB (%) (percentage polymorphic band) – percentage of polymorphism in the population.

Популяция Ps-4, которая находится в г. Элисте Республики Калмыкия, имеет самые высокие значения показателей внутрипопуляционного генетического разнообразия в сравнении с другими изучаемыми популяциями вида *P. sylvestris*. Сравнение популяций *P. nigra* subsp. *pallasiana* показало, что самыми высокими значениями показателей обладает популяция Pn-4, которая находится в Степном лесничестве Ставропольского края. Данные результаты указывают на то, что у приведенных двух популяций более высокий уровень генетического разнообразия.

Заключение. Глобальное изменение климата, вызванное антропогенными факторами, является одной из наиболее серьезных угроз для биологического разнообразия планеты. В настоящее время сохранение биологического разнообразия лесных насаждений является важной научной задачей, ключевым аспектом которой является сбережение генетических ресурсов древесных растений, в том числе хвойных, и их дальнейшее использование в агролесомелиорации и защитном лесоразведении. В различных насаждениях южных регионов России широко распространены *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana*. Ключевым фактором, влияющим на адаптивность к условиям изменения климата, является генетическое разнообразие.

Для исследования генетической структуры и генетического разнообразия *P. sylvestris* и *P. nigra* subsp. *pallasiana* использован ISSR-анализ, который отличается экономичностью, технической простотой, надежностью, воспроизводимостью и высокой разрешающей способностью.

Для проведения генетического анализа исследуемых популяций двух видов рода *Pinus* отобрано 14 межмикросателлитных праймеров. В общей сложности амплифицировано 127 различных фрагментов ДНК у 4 популяций *P. sylvestris* (из них полиморфных – 119) и 128 фрагментов ДНК у 4 популяций *P. nigra* subsp. *pallasiana (*из них полиморфных – 114). Молекулярная масса полученных ПЦР-фрагментов у *P. sylvestris* находилась в диапазоне от 300 до 1400 п. н., у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – от 250 до 1300 п. н. Значение PIC варьировалось от 0,326 до 0,394 у популяций *P. sylvestris, у P. nigra* subsp. *pallasiana* – от 0,360 до 0,408. Количество полиморфных локусов, выявленных в каждой популяции *P. sylvestris*, варьировало в пределах от 64 до 87, у популяций *P. nigra* subsp. *pallasiana* – от 66 до 80. Наибольший процент полиморфности у вида *P. sylvestris* составлял 68,0% в популяции Ps-4, а наименьший – 50,0 % в Ps-1. У вида *P. nigra* subsp. *pallasiana* наибольший процент полиморфности составлял 61,5 % в популяции Pn-4, а наименьший – 50,8 % в Pn-1. Показатель n_a у *P. sylvestris* находился в пределах 1,500-1,680, у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1,508-1,615. Показатель n_e у *P. sylvestris* находился в диапазоне 1,246-1,356, у *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1,268-1,301, что указывает на сбалансированное распределение аллелей и не наблюдается выраженное доминирование отдельных генотипов. Анализируемая *P. sylvestris* на территории Республики Калмыкия имеет высокие значения показателей внутрипопуляционного генетического разнообразия в сравнении с другими

изучаемыми популяциями *P. sylvestris,* произрастающими на территории Ставропольского края и Волгоградской области. Среди популяций *P. nigra* subsp*. pallasiana* наиболее высокими значениями показателей генетического разнообразия обладает насаждение в Степном лесничестве Ставропольского края.

Conclusions. Global climate change caused by anthropogenic factors is one of the most serious threats to the planet's biodiversity. Conserving forest biodiversity is currently an important scientific objective, a key aspect of which is preserving the genetic resources of woody plants, including conifers, and their subsequent use in agroforestry and protective afforestation. *P. sylvestris* and *P. nigra* subsp*. pallasiana* are widespread in various forests in the southern regions of Russia. Genetic diversity is a key factor influencing adaptability to climate change.

ISSR analysis was used to study the genetic structure and genetic diversity of *P. sylvestris* and *P. nigra* subsp*. pallasiana*. ISSR analysis is characterized by its cost-effectiveness, technical ease of use, reliability, reproducibility, and high resolution.

Fourteen intermicrosatellite primers were selected for genetic analysis of the study populations of the two Pinus species. In total, 127 different DNA fragments were amplified in 4 populations of *P. sylvestris*, including 119 polymorphic fragments, and 128 DNA fragments in 4 populations of *P. nigra* subsp. *pallasiana*, including 114 polymorphic fragments. The molecular weight of the obtained PCR fragments ranged from 300 to 1400 in *P. sylvestris*, and from 250 to 1300 in *P. nigra* subsp. *pallasiana*. The PIC value ranged from 0.326 to 0.394 in populations of *P. sylvestris*, and from 0.360 to 0.408 in *P. nigra* subsp. *pallasiana*. The number of polymorphic loci identified in each population of P. sylvestris ranged from 64 to 87, in populations of *P. nigra* subsp. *pallasiana* – from 66 to 80. The highest percentage of polymorphism in the species *P. sylvestris* was 68.0 % in the population Ps-4, and the lowest was 50.0 % in Ps-1. In the species *P. nigra* subsp. *pallasiana*, the highest percentage of polymorphism was 61.5 % in the population Pn-4, and the lowest was 50.8 % in Pn-1. The n_e index in *P. sylvestris* was within 1.500-1.680, in *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1.508-1.615. The ne index in P. sylvestris was in the range of 1.246-1.356, in *P. nigra* subsp. *pallasiana* – 1.268-1.301, which indicates a balanced distribution of alleles and no pronounced dominance of individual genotypes is observed. The *P. sylvestris* analyzed in the Republic of Kalmykia has high intrapopulation genetic diversity compared to other studied *P. sylvestris* populations growing in Stavropol region and Volgograd region. Among *P. nigra* subsp. *pallasiana* populations, the stand in the Stepnoye Forestry of Stavropol region has the highest genetic diversity.

Библиографический список

1. De Smedt S., Sobuj N., Pommerening A. From structural diversity measures to ecosystem complexity: Experiments for deriving aggregated complexity indices. Trees, Forests and People. 2026. Art. 101165.
2. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Изменение климатических факторов и их влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной различных провениенций. Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 84-107.
3. Новиков В. А. Роль наземных экосистем в смягчении климатических изменений: обзор современных исследований. Проблемы региональной экологии. 2025. № 2. С. 33-43.
4. Song K., Wang Z., Zhang D., Yu S., Zhang T., Wang X., Li X., Du B. Elevational Differentiation in Earlywood and Latewood Density Responses of *Pinus sylvestris* var. mongolica to Climate in the Northern Greater Khingan Range. Forests. 2026. Vol. 17. No. 1. P. 99.
5. Ивонин В. М. Обоснование системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. Мелиорация и гидротехника. 2017. № 3 (27). С. 18-31.
6. Кузенко А. Н., Кошелев А. В. Исторический аспект формирования защитных лесных насаждений из сосны обыкновенной в Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 227-234.
7. Сбоева Я. В., Васильева Ю. С., Чертов Н. В., Пыстогова Н. А., Боронникова С. В., Календарь Р. Н., Мартыненко Н. А. Молекулярно-генетическая идентификация популяций сосны обыкновенной и лиственницы сибирской в Пермском крае на основании полиморфизма ISSR-маркеров. Сибирский лесной журнал. 2020. № 4. С. 35-44.
8. Чертов Н. В., Сбоева Я. В., Жуланов А. А., Васильева Ю. С., Наговицина В. О., Боронникова С. В. Генетические детерминанты устойчивости хвойных древесных растений Урала к воздействию биотических и абиотических факторов. Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. № 9. С. 30-49.
9. Ulbricht M., Uhl E., Biber P., Hilmers T., Pretzsch H. Heavy thinning from above affects growth and coarse root-stem allometry of mature Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in monospecific and mixed-species stands. Trees. 2026. Vol. 40. No. 1. P. 6.
10. Chowdhury F. I., Espelta J. M., Sánchez-Mejía T., Margalef-Marrase J., Jaime L., Lloret F. Canopy cover and species' climatic niche shape *Pinus sylvestris* regeneration after drought-induced die-off. Forest Ecology and Management. 2026. Vol. 603. Art. 123438.
11. Kholdaenko Y. A., Karmanovskaya N. V., Belokopytova L. V., Zhirnova D. F., Mapitov N. B., Vaganov E. A., Babushkina E. A. Direct Observation of the Developing Intra-Annual Density Fluctuation (IADF) for Scots Pine in Semiarid Siberian Belt Forest: External Stress Targets Cambium. Plants. 2026. Vol. 15. № 3. Art. 348.
12. Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Пигментный состав хвои саженцев сосны горной и сосны обыкновенной в Нижегородской области. Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2024. Т. 28. № 4. С. 5-18.
13. Кузенко А. Н., Кошелев А. В. Исторический аспект формирования защитных лесных насаждений из сосны обыкновенной в Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 227-234.

14. Балкушкин Р. Н., Салугин А. Н., Кулик А. К. Особенности произрастания Pinus sylvestris в различных почвенных условиях Етеревского песчаного массива. Научно-агрономический журнал. 2023. № 3 (122). С. 46-51.

15. Турчина Т. А., Банникова О. А. Эффективность локального применения корневина на песках разного гранулометрического состава при создании культур сосны крымской. Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2023. Т. 26. С. 174-178.

16. Турчина Т. А., Банникова О. А. Рост сосны крымской на песчаных почвах степной зоны европейской части России. Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2021. Т. 24. С. 154-158.

17. Крючков С. Н., Киреева О. В. Опыт интродукции видов рода сосна (*Pinus*) в Нижнем Поволжье. Природные системы и ресурсы. 2015. № 3 (13). С. 18-28.

18. Салогуб Р. В., Захаренко Г. С., Севастьянов В. Е. Современное состояние и перспективы использования сосны крымской в лесомелиоративных насаждениях в степном и предгорном Крыму. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2025. № 42 (205). С. 12-24.

19. Nazik N., Ch A. A., Yin Z., Mammadova R., Suleimanova G., Rao A. Q., Bakhsh A. CRISPR/Cas-mediated genetic improvements in vegetable crops. Drought Stress: Review and Recommendations. Cham: Springer Nature Switzerland. 2025. Pp. 347-368.

20. Mammadova R., Salimov V., Trapp O., Alizade S., Röckel F. Genetic analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) genotypes from Azerbaijan using simple sequence repeat markers. Genetic Resources and Crop Evolution. 2026. Vol. 73. No. 1. P. 23.

21. Nadeem M. A., Nawaz M. A., Shahid M. Q., Doğan Y., Comertpay G., Yıldız M., Baloch F. S. DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2018. Vol. 32. No. 2. Pp. 261-285.

22. Amiteye S. Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding. Heliyon. 2021. Vol. 7. No. 10. Art. e08093.

23. Shila S. M., Ome A. R., Ahmed A., Roy R. R., Alam M. A. Unraveling the genetic diversity and population structure of *Mesua ferrea* L. Through RAPD and ISSR markers for effective conservation. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2026. Vol. 24. No. 1. Art. 100649.

24. Badhepuri M. K., Beeravelli P. R., Arolla R. G., Jogam P., Rohela G. K., Singisala N. R. Micropropagation and genetic fidelity analysis using SCoT and ISSR markers in *Muehlenbeckia platyclada* (F. Muell.) meisn. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2024. Vol. 157. No. 3. P. 51.

25. Li P., Liu D. Genetic diversity among asexual and sexual progenies of *Phytophthora capsici* detected with ISSR markers. Plant Protection Science. 2021. Vol. 57. No. 4. Pp. 271-278.

26. Delshad D., Salmaninezhad F., Mostowfizadeh-Ghalamfarsa R. Exploring the genetic diversity of Phytopythium vexans through ISSR markers. Journal of Plant Pathology. 2025. Vol. 107. No. 1. Pp. 577-588.

27. Mohammad D. O., Vafaee Y., Seraj R. G. M., Mozafari A. A., Tahir N. A. R. Genetic diversity of native *Cucumis melo* L. accessions from Iran and Iraq revealed by SCoT and ISSR markers. Scientific Reports. 2025. Vol. 16. No. 1. Art. 1715.

28. Meheret F., Tesfaye K., Haileselassie T., Muktar M., Worku D., Asmare B., Taye M. Genetic diversity and population structure in Ethiopian Urochloa brizantha genotypes uncovered using inter simple sequence repeat (ISSR) markers. PloS one. 2026. Vol. 21. No. 1. Art. e0340368.

29. Шестибратов К. А., Мещерова Е. Н., Крутовский К. В., Баранов О. Ю., Кирьянов П. С., Пантелеев С. В., Можаровская Л. В., Падутов В. Е. Структура и филогения генома хлоропластов повислой берёзы. Frontiers in Genetics. 2021. Т. 12. № 625764.

References

1. de Smedt S., Sobuj N., Pommerening A. From structural diversity measures to ecosystem complexity: Experiments for deriving aggregated complexity indices. Trees, Forests and People. 2026. Art. 101165.

2. Poplavskaya L. F., Rebko S. V., Tupik P. V. Changes in climatic factors and their influence on the radial growth of Scots pine of various varieties. Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources. 2025. No. 2 (294). Pp. 84-107.

3. Novikov V. A. The role of terrestrial ecosystems in mitigating climate change: a review of modern research. Problems of regional ecology. 2025. No. 2. Pp. 33-43.

4. Song K., Wang Z., Zhang D., Yu S., Zhang T., Wang X., Li X., Du B. Elevational Differentiation in Earlywood and Latewood Density Responses of *Pinus sylvestris* var. mongolica to Climate in the Northern Greater Khingan Range. Forests. 2026. Vol. 17. No. 1. P. 99.

5. Ivonin V. M. Substantiation of the system of forest reclamation of natural and anthropogenic landscapes. Land reclamation and hydraulic engineering. 2017. No. 3 (27). Pp. 18-31.

6. Kuzenko A. N., Koshelev A.V. The historical aspect of the formation of protective forest plantations from Scots pine in the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2025. No. 1 (79). Pp. 227-234.

7. Glasheva Ya. V., Vasilyeva Yu. S., Chertov N. V., Pystogova N. A., Boronnikova S. V., Kalend R. N., Martynenko N. A. Molecular genetic identification of populations of Scots pine and Siberian larch in the Perm Region based on polymorphism of ISSR markers. Siberian Forest Journal. 2020. No. 4. Pp. 35-44.

8. Chertov N. V., Glasheva Ya. V., Zhulanov A. A., Vasilyeva Yu. S., Nagovitsina V. O., Boronnikova S. V. Genetic determinants of resistance of coniferous woody plants of the Urals to the effects of biotic and abiotic factors. Bulletin of Science and Practice. 2025. Vol. 11. No. 9. Pp. 30-49.

9. Ulbricht M., Uhl E., Biber P., Hilmers T., Pretzsch H. Heavy thinning from above affects growth and coarse root-stem allometry of mature Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) in monospecific and mixed-species stands. Trees. 2026. Vol. 40. No. 1. P. 6.

10. Chowdhury F. I., Espelta J. M., Sánchez-Mejía T., Margalef-Marrase J., Jaime L., Lloret F. Canopy cover and species' climatic niche shape *Pinus sylvestris* regeneration after drought-induced die-off. Forest Ecology and Management. 2026. Vol. 603. Art. 123438.

11. Kholdaenko Y. A., Karmanovskaya N. V., Belokopytova L. V., Zhirnova D. F., Mapitov N. B., Vaganov E. A., Babushkina E. A. Direct Observation of the Developing Intra-Annual Density Fluctuation (IADF) for Scots Pine in Semiarid Siberian Belt Forest: External Stress Targets Cambium. Plants. 2026. Vol. 15. No. 3. Art. 348.

12. Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Pigment composition of needles of mountain pine and Scots pine seedlings in the Nizhny Novgorod region. Forest bulletin. Forestry Bulletin. 2024. Vol. 28. No. 4. Pp. 5-18.

13. Kuzenko A. N., Koshelev A. V. The historical aspect of the formation of protective forest plantations from Scots pine in the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: science and higher professional education. 2025. No. 1 (79). Pp. 227-234.

14. Balkushkin R. N., Salugin A. N., Kulik A. K. Peculiarities of *Pinus sylvestris* growth in various soil conditions of the Eterevsky sandy massif. Scientific and agronomic journal. 2023. No. 3 (122). Pp. 46-51.

15. Turchina T. A., Bannikova O. A. The effectiveness of local application of kornevin on sands of different granulometric composition in the creation of Crimean pine crops. Fruit growing, seed production, and the introduction of woody plants. 2023. Vol. 26. Pp. 174-178.

16. Turchina T. A., Bannikova O. A. The growth of the Crimean pine on sandy soils of the steppe zone of the European part of Russia. Fruit growing, seed production, and the introduction of woody plants. 2021. Vol. 24. Pp. 154-158.

17. Kryuchkov S. N., Kireeva O. V. Experience of introduction of species of the genus (*Pinus)* in the Lower Volga region. Natural systems and resources. 2015. No. 3 (13). Pp. 18-28.

18. Salogub R. V., Zakharenko G. S., Sevastyanov V. E. The current state and prospects of using Crimean pine in forest reclamation plantations in the steppe and foothill Crimea. News of agricultural science of Taurida. 2025. No. 42 (205). Pp. 12-24.

19. Nazik N., Ch A. A., Yin Z., Mammadova R., Suleimanova G., Rao A. Q., Bakhsh A. CRISPR/Cas-mediated genetic improvements in vegetable crops. Drought Stress: Review and Recommendations. Cham: Springer Nature Switzerland. 2025. Pp. 347-368.

20. Mammadova R., Salimov V., Trapp O., Alizade S., Röckel F. Genetic analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) genotypes from Azerbaijan using simple sequence repeat markers. Genetic Resources and Crop Evolution. 2026. Vol. 73. No. 1. P. 23.

21. Nadeem M. A., Nawaz M. A., Shahid M. Q., Doğan Y., Comertpay G., Yıldız M., Baloch F. S. DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2018. Vol. 32. No. 2. Pp. 261-285.

22. Amiteye S. Basic concepts and methodologies of DNA marker systems in plant molecular breeding. Heliyon. 2021. Vol. 7. No. 10. Art. e08093.

23. Shila S. M., Ome A. R., Ahmed A., Roy R. R., Alam M. A. Unraveling the genetic diversity and population structure of *Mesua ferrea* L. Through RAPD and ISSR markers for effective conservation. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2026. Vol. 24. No. 1. Art. 100649.

24. Badhepuri M. K., Beeravelli P. R., Arolla R. G., Jogam P., Rohela G. K., Singisala N. R. Micropropagation and genetic fidelity analysis using SCoT and ISSR markers in *Muehlenbeckia platyclada* (F. Muell.) meisn. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2024. Vol. 157. No. 3. P. 51.

25. Li P., Liu D. Genetic diversity among asexual and sexual progenies of *Phytophthora capsici* detected with ISSR markers. Plant Protection Science. 2021. Vol. 57. No. 4. Pp. 271-278

26. Delshad D., Salmaninezhad F., Mostowfizadeh-Ghalamfarsa R. Exploring the genetic diversity of Phytopythium vexans through ISSR markers. Journal of Plant Pathology. 2025. Vol. 107. No. 1. Pp. 577-588.

27. Mohammad D. O., Vafaee Y., Seraj R. G. M., Mozafari A. A., Tahir N. A. R. Genetic diversity of native *Cucumis melo* L. accessions from Iran and Iraq revealed by SCoT and ISSR markers. Scientific Reports. 2025. Vol. 16. No. 1 Art. 1715.

28. Meheret F., Tesfaye K., Haileselassie T., Muktar M., Worku D., Asmare B., Taye M. Genetic diversity and population structure in Ethiopian Urochloa brizantha genotypes uncovered using inter simple sequence repeat (ISSR) markers. PloS one. 2026. Vol. 21. No. 1. Art. e0340368.

29. Shestibratov K. A., Meshcherova E. N., Krutovsky K. V., Baranov O. Yu., Kiryanov P. S., Panteleev S. V., Mozharovskaya L. V., Padutov V. E. The structure and phylogeny of the genome of chloroplasts of hanging birch. Frontiers in Genetics. 2021. Vol. 12. Art. 625764.

Информация об авторах

Кузьмин Петр Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-1303-765X, e-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Романова Ирина Михайловна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0009-0000-8635-8529, e-mail: romanova-i@vfanc.ru

Лушникова Елизавета Сергеевна, инженер-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0009-0004-3907-926X, e-mail: lushnikova-e@vfanc.ru

Authors' Information

Kuzmin Peter Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory, 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: 0000-0002-1303-765X, e-mail: kuzmin-p@vfanc.ru

Romanova Irina Mikhailovna, Junior 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: 0009-0000-8635-8529, e-mail: romanova-i@vfanc.ru

Lushnikova Elizaveta Sergeevna, 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: 0009-0004-3907-926X, e-mail: lushnikova-e@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-25

THE PEPPER HYBRIDS STUDY EVALUATION BASED ON THE PRODUCTIVITY AND ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS IN THE VOLGOGRAD REGION CONDITIONS

[1]Kulikova N. A., [2]Struchalina E. V., [1]Kotelnikova A. S.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]Breeding and Seed Production Department of SCC Rostok LLC,
Sredneakhtubinsky District, Volgograd Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: trjasi@list.ru

Received 02.04.2026 Submitted 20.06.2026

Summary

The article suggests using hybrid varieties of sweet peppers in combination with the use of biostimulants and soil mulching, which can increase the yield and quality of products in the open field conditions of the Volgograd region.

Abstract

Introduction. Sweet peppers are an important vegetable crop due to their high content of vitamins and minerals, making them an essential part of a healthy diet. The increasing demand for high-quality sweet peppers is driven by the growing interest of producers in high-yielding hybrid varieties that produce excellent-quality products at competitive prices. One of the key vegetable-producing regions in Russia is the Volgograd Region, which faces the challenge of increasing agricultural production to meet the needs of the population for high-quality food products. The most important task of the study was to determine the most productive and economically viable sweet pepper hybrids suitable for growing in local climatic conditions. **Object.** The tests were carried out at the site of the collection nursery of the Rostock Seed Breeding Center, located in the Volgograd region, Sredneakhtubinsky district in the west, two kilometers from the village. Lebyazhya polyana. The aim of the work is to influence the three-factor experiment (hybrid × biostimulators × soil mulching) on the yield and quality of sweet pepper fruits. **Materials and methods.** The research was conducted in 2023-2024 at the experimental site of the Rostok Breeding and Seed Production Center. **Results and conclusions.** When evaluating selected sweet pepper hybrids, good results were obtained, and the possibility of growing hybrids in open ground in the conditions of the Volgograd Region was demonstrated. The results of the study and assessment of the economic value and productivity of sweet pepper hybrids contain relevant information and can be used in the planning of production of already zoned samples by local farms.

Keywords**:** *pepper hybrids, plant growth biostimulants, mulching, productivity of pepper hybrids, sweet pepper.*

Citation. Kulikova N. A., Struchalina E. V., Kotelnikova A. S. The pepper hybrids study evaluation based on the productivity and economically valuable traits in the Volgograd region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 229-237 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-25.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 read and approved the final version.
Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interests.

УДК 635.649

ОЦЕНКА ИЗУЧЕНИЯ ГИБРИДОВ ПЕРЦА ПО ПРОДУКТИВНОСТИ И ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫМ ПРИЗНАКАМ В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Куликова Н. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
[2]Стручалина Е. В., *кандидат сельскохозяйственных наук*
[1]Котельникова А. С., *магистрант*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]Селекционно-семеноводческий департамент ООО «ССЦ «Росток»
х. Лебяжья Поляна, Среднеахтубинский район, Волгоградская область, Российская Федерация

Актуальность. Сладкий перец представляет собой важную овощную культуру благодаря высокому содержанию витаминов и минералов, что делает его незаменимым элементом здорового питания. Повышение спроса на качественный сладкий перец обусловлено растущим интересом производителей к высокоурожайным гибридным формам, позволяющим получать продукцию отличного качества и продавать её по выгодным ценам. Одним из ключевых регионов-производителей овощей

в России является Волгоградская область, перед которой стоят задачи увеличения объемов сельхозпродукции для удовлетворения потребностей населения в качественных продуктах питания. Важнейшей задачей исследования стало определение наиболее продуктивных и экономически выгодных гибридов сладкого перца, пригодных для выращивания в местных климатических условиях. **Объект.** Испытания проводились на участке коллекционного питомника Селекционно-семеноводческого центра «Росток», расположенного в Среднеахтубинском районе Волгоградской области, в двух километрах на западе от х. Лебяжья Поляна. **Целью работы** является изучение влияния трехфакторного эксперимента (гибрид × биостимуляторы × мульчирование почвы) на урожайность и качество плодов перца сладкого. **Материалы и методы.** Исследования проведены в 2023-2024 гг. на опытном участке ООО «ССЦ «Росток». **Результаты и выводы.** В ходе оценки гибридов сладкого перца были получены положительные результаты, подтверждена возможность их выращивания в открытом грунте Волгоградской области. Сведения о хозяйственной ценности и продуктивности содержат актуальную информацию, рекомендуемую для использования местными хозяйствами при планировании производства районированных образцов.

Ключевые слова: *гибриды перца, биостимуляторы роста растений, мульчирование, продуктивность гибридов перца, перец сладкий.*

Цитирование. Куликова Н. А., Стручалина Е. В., Котельникова А. С. Оценка изучения гибридов перца по продуктивности и хозяйственно ценным признакам в условиях Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 229-237. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-25.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с предоставленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сладкий перец, также известный как болгарский перец, относится к виду Capsicum annuum. Его культивирование началось тысячи лет назад. Археологические находки свидетельствуют, что перец использовался в пищу уже более 9000 лет назад. Первые свидетельства окультуривания перца относятся к территориям современных Мексики и Центральной Америки, где он был важной частью рациона местных народов (согласно данным Бурвель И. С., 2017 и Губановой В. М., 2020) [7].

Со временем селекционеры вывели множество сортов и гибридов, адаптированных к различным климатическим условиям. Сегодня сладкий перец выращивается практически во всех странах с умеренным и теплым климатом, а его разнообразие форм, цветов и вкусов продолжает расширяться благодаря современной селекции [5, 10].

Волгоградская область относится к зоне рискованного земледелия с выраженным дефицитом влаги в вегетационный период (среднегодовая сумма осадков 320-350 мм при испаряемости 750-800 мм) [8].

В южных районах России, занимающихся выращиванием сладкого перца, нередко возникает нехватка воды. Вследствие этого полив превращается в ключевой и обязательный компонент технологии возделывания, обеспечивающий устойчивое плодоношение [6].

Для полного обеспечения населения экологически безвредной овощной продукцией ее производство должно выйти на новый технологический уровень, соответствующий достижениям научно-технического прогресса, особенно когда ощутимо пагубное влияние на урожай из-за неблагоприятных климатических и экологических условий [4, 11].

Современные приемы адаптивной агротехники могут включать комплекс различных мероприятий, в том числе применение биостимуляторов и мульчирование почвы.

Использование биостимуляторов в овощеводстве оправдано хорошими показателями в отношении повышения урожайности и качества овощей. Но для получения устойчивого эффекта в разных природных зонах необходимо испытание препаратов на конкретных культурах [3, 12].

Важную роль в формировании у обрабатываемых растений устойчивости к различным факторам: устойчивости (стрессам, болезням и вредителям и т. п.) играют стимуляторы роста [9].

За счет мульчирования обеспечивается защита корневой системы растений от пересыхания, не образуется почвенная корка, поддерживается оптимальная температура почвы, подавляется сорная растительность, создаются благоприятные условия для дея-

тельности дождевых червей и полезных микроорганизмов. Все это позволяет минимизировать частоту поливов, использование ручного труда и химических препаратов для борьбы с сорняками, а также благоприятно влияет на структуру почвы [13].

Постоянно растущий спрос на сладкий перец во всем мире способствует акцентированию внимания на создании и развитии новых гибридов [2].

Материалы и методы. Исследования проводились в 2023-2024 гг. на опытном участке ССЦ «Росток». Почва лугового типа в Волго-Ахтубинской пойме, светло-каштановые солонцеватые тяжелосуглинистые. Содержание гумуса в почве сравнительно небольшое 2,8-3,1 % типичное для данной зоны, pH 7,2-7,8.

Дизайн эксперимента – трехфакторный.

Фактор А: гибрид перца (6 уровней): Ариадни F1, Каптур F1, Кардинал F1, Орси F1, TPL 1157 F1, Слоново Уво F1 (контроль);

Фактор В: без обработки (контроль) и обработка комплексом биостимуляторов – эпин-экстра + циркон + гумат калия (30 г/10 л, две внекорневые подкормки в фазу бутонизации и плодоношения);

Фактор С: мульчирование почвы (3 варианта): 1) без мульчи (контроль); 2) черная пленка толщиной 120 мкм; 3) спанбонд белый 17 г/м².

Площадь делянки – 10 м², повторность – четырехкратная, размещение – рандомизированный блок. Рассаду выращивали в кассетах (228 ячеек) без пикировки. Высадку в открытый грунт проводили 15-18 мая по схеме 70×32 см – 4 растения/м² (рисунок 1). Полив осуществляли по системе капельного орошения с нормой 219 м³/га (85 % ПВ). Удобрения вносили строго по фазам развития культуры: акцент на азотно-фосфорное питание в начальный период для наращивания вегетативной массы и корневой системы с последующим увеличением доз калийных удобрений в фазах цветения и плодоношения.



2023 год 2024 год

Рисунок 1 – Перец сладкий (лат. Capsicum annuum L.) в открытом грунте
Figure 1 – Sweet pepper (Latin. Capsicum annuum L.) in the open ground

Наблюдения проводили на десяти растениях каждого варианта с определением температуры почвы на глубине 5 см в разные месяцы (термометр почвенный), облиственности, морфометрических показателей плодов, урожайности и товарности.

Обсуждение. В 2023-2024 годах шесть образцов оценивались по таким хозяйственно полезным признакам (таблица 1) как: вегетативная часть, средняя масса плода, толщина стенки, урожайность и продуктивность.

Учёт урожайности и продуктивности гибридов перца является важным этапом оценки их хозяйственной ценности. В данном исследовании использовались весовой метод и анализ продуктивности, что позволило получить комплексное представление о потенциале каждого гибрида.

Сбор урожая проводился вручную по мере созревания плодов в среднем один раз в неделю. Урожайность плодов определялась на основе фактического сбора с квадратного метра.

Таблица 1 – Общая сравнительная оценка гибридов перца (среднее за 2023-2024 гг.)
Table 1 – General comparative assessment of pepper hybrids (average for 2023-2024)

Гибрид / Hybrid	Форма плода / The shape of the fetus	Средний вес плода, г / The average weight of the fetus, g	Толщина стенки плода, см / Fetal wall thickness, cm	Количество гнезд, шт. / Number of sockets, pcs.	Урожайность, кг/м^2 / Yield, kg/m^2	Продуктивность с одного куста, г. / Productivity per bush, g	Товарные плоды, % / Marketable fruits, %
1. Ариадни F1 / Ariadne F1	коническая / conical	147	0,8	2-3	7,4	2646	87
2. Каптур F1 / Kaptur F1	коническая / conical	153	0,8	2-3	5,6	2595	84
3. Кардинал F1 / The Cardinal F1	коническая / conical	127	0,8	2-3	5,5	2032	90
4. Орси F1 / Orsi F1	кубовидная / cuboid	124	0,6	3-4	3,7	2232	35
5. TPL 1157 F1 / TPL 1157 F1	кубовидная / cuboid	210	0,5	3-4	5,5	2100	83
6. СлоновоУво F1 (контроль) / Slonovo F1 (control)	коническая / conical	180	0,5	2-3	5,2	2340	76

Средний вес плода всех изучаемых гибридов составлял 156,83 г, но разброс данных по массе был достаточно большим. Так, наименьшая разница по отношению к контролю наблюдалась у TPL 1157 F1 (30 г), а наибольшая была отмечена у гибрида Орси F1 (56 г). Это указывает на значительные различия между гибридами.

Толщина стенки у трех гибридов (Ариадни F1, Каптур F1, Кардинал F1) составляла 0,8 см, что на 0,3 см больше по отношению к гибридам Орси F1 и СлоновоУво F1 (контроль) и на 0,2 см больше по отношению к гибриду TPL 1157 F1 (рисунок 2).


Ариадни F1 / Ariadne F1


Каптур F1 / Kaptur F1


Кардинал F1 / The Cardinal F1


Орси F1 / Orsi F1


TPL 1157 F1 / TPL 1157 F1


СлоновоУво F1 (контроль) / Slonovo F1 (control)

Рисунок 2 – Измерение размеров и толщины стенки у изучаемых гибридов
Figure 2 – Measurement of the dimensions and wall thickness of the studied hybrids

Наиболее урожайным зарекомендовал себя гибрид Ариадни F1 (7,4 кг/м^2), наименьшую урожайность показал гибрид Орси F1 (3,7 кг/м^2), у остальных гибридов, включая контроль, показатели по урожайности варьировали от 5,2 до 5,6 кг/м^2.

Прибавки в процентах по отношению к контролю по такому показателю, как продуктивность с одного куста, были получены у гибридов Ариадни F1 (13,0 %) и Каптур F1 (10,9 %). У остальных гибридов показатель снижался в сравнении с контролем: так, у Кардинал F1 (-13,1 %), у Орси F1 (-4,6 %) и у TPL 1157 F1 (-10,25 %).

Согласно техническим требованиям, наибольший процент товарных плодов соответствующих характеристикам и нормам ([3]ГОСТ 34325-2017, таблица 1), был отмечен у всех гибридов по отношению к контролю, за исключением гибрида Орси F1, у которого этот показатель на 41 % показатель меньше.

Анализ устойчивости гибридов перца к внешним факторам (таким как климатические условия) является важным этапом исследования, особенно в условиях изменяющегося климата. Этот анализ позволил оценить, как гибриды реагируют на стрессовые условия и какие из них наиболее пригодны для выращивания в Волгоградской области.

Таблица 2 – Среднемесячная температура воздуха и сумма осадков в период 2023-2024 гг. (данные с цифровой метеостанции Xiaomi)
Table 2 – Average monthly air temperature and precipitation amount in the period 2023-2024 (data from the Xiaomi digital weather station)

Месяцы / Months	Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	Среднемесячная температура воздуха, ℃ / Average monthly air temperature, ℃	Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	Среднемесячная температура воздуха, ℃ / Average monthly air temperature, ℃
	2023 год / The year 2023		2024 год / The year 2024	
Май / May	3,2	22,1	0,0	19,6
Июнь / June	38	22,4	34	24,5
Июль / July	36	24,8	29	30,5
Август / August	7,0	26,3	19	28,2
Сентябрь / September	33	18,6	33	20,1

Сладкий перец требователен к влажности почвы, особенно потребность во влаге наблюдается в период высадки рассады, в фазу цветения и формирования плодов. Уровень потребности во влаге следует поддерживать, так как отсутствие необходимого количества влаги, как правило, негативно сказывается на урожайности и качестве плодов [8].

По данным таблицы 2 видно, что сумма осадков за вегетационный период перца сладкого в 2023 году составила 117,2 мм, а в 2024 году – 115 мм, что явно недостаточно для нормального роста и развития культуры.

Полив на изучаемых участках осуществлялся с помощью режима капельного орошения. Количество поливов определялось естественной влагообеспеченностью и продолжительностью межполивного периода. В период от высадки до цветения и от цветения до плодообразования поливная норма составляла 219 м^3/га через день по графику. При повышении температуры воздуха в июле норма полива оставалась 219 м^3/га, но увеличилась частота полива – ежедневно.

Наивысшие среднемесячные показатели температуры воздуха в 2023 году наблюдались в августе и составили 26,3 ^{o}C, в 2024 году соответственно в июле и составили 30,5 ^{o}C. Эти показатели температуры критически не повлияли на рост и развитие перца сладкого.

При температуре воздуха менее +15 °С или более +32 °С рост и развитие растений замедляются, завязывание плодов прекращается, что приводит к потере урожайности [1].

Таблица 3 – Степень облиственности образцов (среднее за 2023-2024 гг.)
Table 3 – Leaf coverage of samples (average for 2023-2024)

Гибрид / Hybrid	Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs.
1. Ариадни F1 / Ariadne F1	190
2. Каптур F1 / Kaptur F1	182
3. Кардинал F1 / The Cardinal F1	160
4. Орси F1 / Orsi F1	158
5. TPL 1157 F1 / TPL 1157 F1	160
6. СлоновоУво F1 (контроль) / Slonovo F1 (control)	159

Оценка облиственности перца – важный аспект, поскольку она влияет на фотосинтетическую активность, урожайность и устойчивость растений к заболеваниям. Для точности оценки был проведен подсчет количества листьев и выведены средние показатели.

[3] ГОСТ 34325-2017 Перец сладкий свежий. Технические условия.

Количество листьев по всем образцам варьировало от 158 штук (Орси F1) до 190 штук (Ариадни F1), с разницей в 32 листа.

Анализ влияния фактора «мульчирование почвы» показал существенное улучшение водно-теплового режима (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние мульчирования на водно-тепловой режим почвы (среднее за 2023-2024 гг.)
Table 4 – The effect of mulching on the water and heat regime of the soil (average for 2023-2024)

Показатель / Indicator	Без мульчи (контроль) / Mulch-free (control)	Черная пленка, 120 мкм / Black film, 120 microns	Спанбонд, 17 г/м² / Spunbond, 17 g/m²
Испарение влаги, мм/месс. / Moisture evaporation, mm/month.	48,2	29,8	36,1
Снижение испарения, % / Reduced evaporation, %	-	38,2	25,1
Температура почвы на глубине 5 см в мае, °С / Soil temperature at a depth of 5 cm in May, °C	16,4	19,1	17,8
Температура почвы на глубине 5 см в июле, °С / Soil temperature at a depth of 5 cm in July, °C	36,8	34,2	32,5
Засоренность, шт./м² / Weediness, pcs./m²	42	3	8
Снижение засоренности, % / Reducing clogging, %	-	92,9	81,0

Растения формируют корневую систему с сильно разветвленными корнями, в основном расположенными в пахотном горизонте и только частично проникающими в более глубокие слои почвы. Пределы максимальной эффективной глубины корневой системы перца составляют 0,5-1,0 м [3].

Черная пленка наиболее эффективно снизила испарение (на 38,2 %), подавила сорняки (на 92,9 %) и охладила почву в июле на 34,2 °С против 36,8 °С в контроле (снижение всего на 2,6 °С).

Спанбонд обеспечил оптимальный баланс: снижение испарения на 25,1 % при более значительном охлаждении почвы в жаркий период (32,5 °С, на 4,3 °С ниже контроля), что положительно сказалось на корнеобразовании перца. Влияние биостимуляторов в сочетании с мульчированием представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Урожайность перца сладкого в зависимости от гибрида, биостимуляторов и мульчирования, кг/м² (среднее за 2023-2024 гг.)
Table 5 – Yield of sweet peppers depending on the hybrid, biostimulants, and mulching, kg/m² (average for 2023-2024)

Гибрид / Hybrid	Без мульчи (контроль) / Mulch-free (control)	Черная пленка + комплекс биостимуляторов / Black film + biostimulant complex	Спанбонд + комплекс биостимуляторов / Spunbond + biostimulant complex
1. Ариадни F1 / Ariadne F1	7,4	9,8	9,5
2. Каптур F1 / Kaptur F1	5,6	7,6	7,3
3. Кардинал F1 / The Cardinal F1	5,5	7,4	7,1
4. Орси F1 / Orsi F1	3,7	5,2	5,0
5. TPL 1157 F1 / TPL 1157 F1	5,5	7,3	7,0
6. СлоновоУво F1 (контроль) / Slonovo Uvo F1 (control)	5,2	7,0	6,8

Наибольшую прибавку урожайности обеспечила комбинация комплексной обработки биостимуляторами и мульчирования черной пленкой у гибрида Ариадни F1 – 9,8 кг/м² против 7,4 кг/м² в контроле (без мульчи и биостимуляторов), что показывает увеличение на 32,4 %. Практически такой же результат с небольшой разницей в урожайности (всего 0,3 кг/м^2) был получен также у гибрида Ариадни F1 в варианте «спанбонд + комплекс биостимуляторов».

Синергетический эффект от комбинации факторов объясняется следующим: мульчирование сократило водный стресс, создав оптимальные условия для реализации потенциала биостимуляторов; эпин-экстра повысил термоустойчивость фотосинтетического ап-

парата при высоких температурах воздуха (> 38 °С); циркон усилил корнеобразование в условиях стабильной влажности под мульчирующим материалом; гумат калия улучшил структуру почвы в корнеобитаемом слое, что усилило эффект мульчирования.

Экономическая эффективность вариантов представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Экономическая эффективность технологических вариантов (расчет на 1 га), по состоянию на 2024 год

Table 6 – Economic efficiency of technological options (per 1 hectare), as of 2024

Показатель / Indicator	Гибриды и варианты опыта / Hybrids and options				
	Слоново Уво F1 контроль / Slonovo Uvo F1 control	Ариадни F1 / Ariadny F1	Ариадни F1 / Ariadny F1	Каптур F1 / Kaptur F1	Каптур F1 / Kaptur F1
	Без мульчи и без стимул. / Without mulch and without stimulant	Плёнка чёрная +стимул. / Black film + stimulant	Спанбонд+ стимул. / Spunbond + stimulant	Плёнка чёрная +стимул. / Black film + stimulant	Спанбонд +стимул. / Spunbond + stimulant
1	2	3	4	5	6
1. Урожайность, т/га / Yield, t/ha	52	98	95	76	73
2. Цена реализации, руб./т* / Sale price,RUB/t*	40000				
3. Выручка, руб. / Revenue, RUB	2080000	3920000	3800000	3040000	2920000
4. Производственные затраты, руб. / Production costs, RUB					
Рассада / Seedlings	280000				
Удобрения и СЗР / Fertilizers and Plant Protection Products	65000				
Биостимуляторы / Biostimulants					
Эпин-Экстра / Epin-Extra	0	2160			
Циркон / Zirkon	0	2400			
Гумат калия / Potassium humate	0	48			
Итого биостимуляторы / Total biostimulants	0	4608			
Мульчирующий материал / Mulching material					
Чёрная плёнка / Black film	0	55 000	0	55 000	0
Спанбонд / Spunbond	0	0	65000	0	65000
Капельное орошение / Drip irrigation	75000	60000	63000	62000	64000
ГСМ и амортизация / Fuel, lubricants, and depreciation	40000	40000	40000	40000	40000
Оплата труда / Payment of labor					
Уход / Care	126000		144000	126000	144000
Уборка урожая / Harvesting	505440	882000	872100	684000	669420
Итого оплата труда / Total labor costs	721440	1008000	1016100	810000	813420

Окончание таблицы 6

1	2	3	4	5	6
Транспорт и хранение / Transportation and storage	104 000	196 000	190 000	152000	146000
Итого прямых затрат / Total direct costs	1285440	1708608	1723708	1468608	1478028
Прочие расходы (5 %) / Other expenses (5 %)	64272	85430	86185	73430	73901
Итого затрат / Total costs	1349712	1794038	1809893	1542038	1551929
Прибыль, руб. / Profit, RUB	730288	2125962	1990107	1497962	1368071
Рентабельность, % / Profitability, %	35,1	54,2	52,4	49,3	46,6

Примечание: расчет экономической эффективности выполнен на основе средних сложившихся цен в Волгоградской области в 2023-2024 гг. для овощеводческих хозяйств.
Note: The economic efficiency calculation is based on the average prices in the Volgograd region in 2023-2024 for vegetable farms.

Наибольшую чистую прибыль (2 125 962 руб./га) обеспечил вариант с чёрной плёнкой и биостимуляторами у гибрида Ариадни F1. Однако вариант со спанбондом и биостимуляторами на том же гибриде, несмотря на несколько меньшую урожайность (95,0 против 98,0 т/га), также показал высокую экономическую эффективность: прибыль составила 1 990 107 руб./га, рентабельность – 52,4 %. При этом спанбонд дешевле в утилизации и не требует демонтажа после уборки, что снижает затраты труда на 15 % по сравнению с чёрной плёнкой и делает его технологически более удобным в производственных условиях.

Заключение. Трехфакторный эксперимент (гибрид × биостимуляторы × мульчирование) выявил синергетический эффект: комбинация гибрида Ариадни F1, комплексной обработки биостимуляторами и мульчирования черной пленкой повысила урожайность на 88,5 % по сравнению с контролем. Мульчирование почвы является критически важным фактором в условиях Волгоградской области: черная пленка снизила испарение на 38,2 %, спанбонд – на 25,1 %, при этом спанбонд обеспечил лучшее охлаждение почвы в жаркий период (на 4,3 °С ниже контроля).

Полученные результаты позволяют рекомендовать для промышленного выращивания перца сладкого в Волгоградской области технологию: гибрид Ариадни F1 + комплекс биостимуляторов (эпин-экстра, циркон, гумат калия) + мульчирование спанбондом 17 г/м² с капельным орошением (85 % ПВ).

Conclusions. A three-factor experiment (hybrid × bio-stimulants × mulching) revealed a synergistic effect: the combination of the Ariadne F1 hybrid, complex treatment with bio-stimulants, and mulching with black film increased the yield by 88.5 % compared to the control. Soil mulching is a critical factor in the conditions of the Volgograd region: black film reduced evaporation by 38.2 %, spunbond – by 25.1 %, while spunbond provided better cooling of the soil during the hot period (4.3 °C lower than the control).

The results obtained allow us to recommend the following technology for the industrial cultivation of sweet peppers in the Volgograd region: the hybrid Ariadni F1 + a complex of bio-stimulants (Epin-extra, Zircon, potassium humate) + mulching with 17 g/m² spunbond and drip irrigation (85 % PV).

Библиографический список

1. Гурина И. В., Тищенко А. П. Режимы орошения перца сладкого. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 243-262.
2. Каракаджиев А. С., Кигашпаева О. П., Гулин А. В. Изучение наследования ценных хозяйственных признаков у гибридов F1 перца сладкого в условиях Астраханской области. Овощи России. 2025. № 1. С. 29-36.
3. Маркарова А. Э., Маркарова М. Ю., Надежкин С. М. Эффективность использования биостимуляторов на капусте белокочанной в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Овощи России. 2024. № 6. С. 98-105.
4. Мачулкина В. А., Санникова Т. А., Гулин А. В. Поступление урожая овощных культур в зависимости от региона выращивания. Sciences of Europe. 2020. № 52-1(52). С. 9-12.
5. Щербакова Н. С. и др. Оценка перспективных образцов перца сладкого по комплексу хозяйственно-ценных признаков для условий юга России. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 1 (53). С. 100-108.

6. Пикалова А. Н., Шляхов В. А. Систематизация элементов технологии возделывания перца сладкого в условиях орошения Нижнего Поволжья. Молодой исследователь Дона. 2024. Т. 9. № 6 (51). С. 39-43.

7. Першакова Т. В. и др. Перец сладкий свежий как объект хранения. Известия Дагестанского ГАУ. 2024. № 2 (22). С. 316-327.

8. Петров Н. Ю., Калмыкова Е. В., Калмыкова О. В. Адаптивная технология возделывания перца сладкого на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 9 (155). С. 9-14.

9. Авдеенко С. С. и др. Показатели продуктивности и качества гибридов Capsicum annuum group в зависимости от применяемых стимуляторов. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2020. № 2. С. 13-22. https://e.lanbook.com/journal/issue/313986

10. Попова Д. А. Адаптационные свойства сортов и гибридов перца сладкого в пленочных теплицах Северо-Запада РФ. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (66). С. 45-56.

11. Пышная О. Н., Джос Е. А. История развития и результаты селекции пасленовых культур в ФГБНУ ФНЦО. Овощи России. 2021. № 5. С. 5-10.

12. Ридха А. А. Д., Григорьева Л. В., Кирина И. Б. Стимуляторы роста при выращивании рассады перца сладкого (Capsicum annuum L.) для открытого грунта в условиях Тамбовской области. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2025. № 1. С. 173-178.

13. Пузевич К. Л. и др. Результаты применения мульчирующей пленки при получении семян фасоли. Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. С. 217-221.

References

1. Gurina I. V., Tishchenko A. P. Irrigation regimes for sweet pepper. Melioration and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13. No 4. Pp. 243-262.

2. Karakadzhiev A. S., Kigashpaeva O. P., Gulin A. V. Study of the inheritance of valuable economic traits in F1 sweet pepper hybrids in the Astrakhan region. Vegetables of Russia. 2025. No 1. Pp. 29-36.

3. Markarova A. E., Markarova M. Yu., Nadezhkin S. M. The Effectiveness of Using Biostimulants on White Cabbage in the Non-Black-soils Zone of the Russian Federation. Vegetables of Russia. 2024. No 6. Pp. 98-105.

4. Machulkina V. A., Sannikova T. A., Gulin A. V. The yield of vegetable crops depending on the growing region. Sciences of Europe. 2020. No 52-1 (52). Pp. 9-12.

5. Shcherbakova N. S. et al. Evaluation of promising sweet pepper varieties based on a set of economically valuable traits for the conditions of southern Russia. Problems of the Region's Agricultural Development. 2023. No 1 (53). Pp. 100-108.

6. Pikalova A. N., Shlyakhov V. A. Systematization of the Elements of Sweet Pepper Cultivation Technology in the Irrigation Conditions of the Lower Volga Region. Young Researcher of the Don. 2024. V. 9. No 6 (51). Pp. 39-43.

7. Pershakova T. V. et al. Fresh Sweet Pepper as an Object of Storage. Izvestiya Dagestanskogo GAU. 2024. No 2 (22). Pp. 316-327.

8. Petrov N. Yu., Kalmykova E. V., Kalmykova O. V. Adaptive technology of cultivating sweet pepper on light chestnut soils of the Volgograd region. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2017. No 9 (155). Pp. 9-14.

9. Avdeenko S. S. et al. Productivity and quality indicators of Capsicum annuum group hybrids depending on the stimulants used. Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2020. No 2. Pp. 13-22. https://e.lanbook.com/journal/issue/313986

10. Popova D. A. Adaptation properties of sweet pepper varieties and hybrids in film greenhouses in the North-West of the Russian Federation. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2022. No 1 (66). Pp. 45-56.

11. Pyshnaya O. N., Dzhos E. A. History of development and results of breeding of solanaceous crops in FGBNU FNTSO. Vegetables of Russia. 2021. No 5. Pp. 5-10.

12. Ridha A. A. D., Grigorieva L. V., Kirina I. B. Growth stimulants in the cultivation of sweet pepper seedlings (Capsicum annuum L.) for open ground in the conditions of the Tambov region. Technologies of food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. 2025. No 1. Pp. 173-178.

13. Puzevich K. L. et al. Results of application of a mulching film in obtaining bean seeds. Innovative solutions in technologies and mechanization of agricultural production: collection of scientific papers. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy, 2024. Pp. 217-221.

Информация об авторах

Куликова Наталья Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Стручалина Елена Владимировна, руководитель селекционно-семеноводческого департамента, ООО «ССЦ «Росток» (Российская Федерация, 404150, Волгоградская область, Среднеахтубинский район, х. Лебяжья Поляна).

Котельникова Александра Сергеевна, магистрант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Authors' Information

Kulikova Natalia Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Struchalina Elena Vladimirovna, Head of the Breeding and Seed Production Department, SCC Rostok LLC (Russian Federation, 404150, Volgograd Region, Sredneakhtubinsky District, Lebyazhya Polyana).

Kotelnikova Aleksandra Sergeevna, Master's Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-26

THE STUDY OF THE EFFECT OF PROTECTIVE EQUIPMENT COMBINED WITH THE WATER REGIMES ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF POTATO VARIETIES UNDER THE IRRIGATION CONDITIONS IN THE LOWER VOLGA REGION

Rodin K. A., Novikov A. A.

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
Volgograd, Russian Federation

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

Received 15.12.2025 Submitted 24.02.2026

The research was carried out within the framework of FNFR-2023-0001: «Comprehensive assessment of the biological potential of promising domestic potato varieties and the development of agricultural technology for the sustainable production of seed tubers for irrigated agriculture».

Summary

The article presents the results of research on the influence of soil water regimes and plant protection systems on the growth and development of potato varieties, structural yield indicators, evapotranspiration and economic effectiveness.

Abstract

Introduction. Biological methods of crop protection are being actively developed to protect public health and reduce the impact of pesticides on the environment. The use of modern agricultural technologies based on biological principles is a promising development vector, especially in the organic production of vegetable crops and potatoes. These technologies should combine the latest scientific achievements in biology and engineering, as well as take into account the specifics of regional growing conditions. **Object.** The study of the effect of plant protection products together with various water conditions of the soil on the growth and development of potatoes. **Materials and methods.** During 2023-2024, a two-variable test was conducted on the basis of the experimental site of VNIIOZ, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution FNC VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, which aimed to study the effects of soil irrigation methods (variable A, two variants), potato varieties (variable B, three varieties) and plant protection complexes (variable C, two approaches). In the course of the experiment, the generally accepted methodological approach was applied. **Results and conclusions.** Maintaining soil moisture levels of at least 80 % of the lowest moisture capacity at a depth of 0.4 m throughout the growing season, along with the use of biological protective agents for potatoes developed for different stages of their growth and development, contributed to an increase in the number and size of tubers by 9.5-10.2 % and 5.2-26.6 %, respectively. This, in turn, led to an increase in the yield of potatoes intended for sale and seed stock to 27.5 tons per hectare and 9.90 tons per hectare, respectively. The analysis of economic efficiency revealed that the highest net profit and profitability were observed in this particular variant, reaching 1,256,291.0 rubles/ha and 549.3 % for seed potatoes, and 733,791.0 rubles and 320.8 % for marketable potatoes.

Keywords: *cultivation of potatoes, Solanum tuberosum L., potato irrigation, plant protection systems, total water consumption of potatoes, structural indicators of potato yield, potato yield.*

Citation. Rodin K. A., Novikov A. A. The study of the effect of protective equipment combined with the water regimes on the growth and development of potato varieties under the irrigation conditions in the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 238-245 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-26.

Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.

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 631.671:635.21:632

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ В СОЧЕТАНИИ С ВОДНЫМИ РЕЖИМАМИ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Родин К. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Новиков А. А., *доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора*

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

Исследования выполнялись в рамках ФНТП FNFR-2023-0001: «Комплексная оценка биологического потенциала перспективных отечественных сортов картофеля и разработка агротехнологии устойчивого производства семенных клубней для условий орошаемого земледелия».

Актуальность. Для охраны здоровья населения и уменьшения воздействия пестицидов на экологию, активно развиваются биологические методы защиты сельхозкультур. Использование современных, основанных на биологических принципах агротехнологий, является многообещающим

вектором развития, особенно в органическом производстве овощных культур и картофеля. Данные технологии должны предусматривать объединение последних научных достижений в области биологии и инженерии, а также учитывать специфику региональных условий выращивания. **Объект.** Изучение влияния препаратов защиты растений вместе с различными водными условиями почвы на рост и развитие картофеля. **Материалы и методы.** В течение 2023-2024 годов на базе экспериментального участка ВНИИОЗ-филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» было проведено испытание с двумя переменными, целью которого было изучение воздействия способов орошения почвы (переменная А, два варианта), сортовой принадлежности картофеля (переменная В, три сорта) и комплексов защиты растений (переменная С, два подхода). В процессе проведения эксперимента применялись общепринятые методические подходы. **Результаты и выводы.** Поддержание уровня влажности почвы не ниже 80 % от наименьшей влагоемкости на глубине 0,4 м на протяжении всего периода вегетации, наряду с использованием биологических средств защиты картофеля, разработанных для разных стадий его роста и развития, способствовало увеличению количества и размера клубней на 9,5-10,2 % и 5,2-26,6 % соответственно. Это, в свою очередь, привело к росту урожайности картофеля, предназначенного для продажи и семенного фонда, до 27,5 т/га и 9,90 т/га соответственно. Анализ экономической эффективности выявил, что наивысшие показатели чистой прибыли и рентабельности наблюдались именно в этом варианте, достигнув 1 256 291,0 руб./га и 549,3 % для семенного картофеля, и 733 791,0 руб. и 320,8 % для товарного картофеля.

Ключевые слова: *возделывание картофеля, Solanum tuberosum L., орошение картофеля, системы защиты растений, суммарное водопотребление картофеля, структурные показатели урожайности картофеля, урожайность картофеля.*

Цитирование. Родин К. А., Новиков А. А. Изучение влияния средств защиты в сочетании с водными режимами на рост и развитие сортов картофеля в условиях орошения Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 238-245. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-26.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Существенный вклад в увеличение сбора картофеля вносит применяемая агротехника, в том числе препараты для защиты насаждений. Для защиты картофеля используются различные методы, включая химические и биологические препараты. Они напрямую влияют на развитие надземной и подземной частей растения, урожайность картофеля и способность клубней храниться в течение длительного времени [1, 2]. На основании работ исследователей можно утверждать, что химические соединения не всегда способны эффективно противостоять развитию болезней [3-5]. Так Плеханова Л. П. и Булдаков С. А. сообщают, что: «… они не всегда имеют возможность без ущерба для растений сдерживать распространение болезни. Поэтому тенденция последних лет заключается в экологизации систем защиты растений, где предпочтение отдается микробиологическим препаратам, в том числе отечественного производства. Агроценозы картофеля Нижнего Поволжья характеризуются неблагоприятным фитосанитарным состоянием, и ежегодно возникает необходимость подбора перспективных систем, обеспечивающих при возделывании картофеля защитные мероприятия от комплекса вредных организмов в условиях орошения» [3-5].

В южных и юго-восточных регионах европейской России, где климат характеризуется засушливостью, выращивание картофеля возможно лишь при искусственном поливе, что широко освещено в научных исследованиях. Однако, использование оросительных систем создает благоприятную среду для распространения заболеваний, что, в свою очередь, приводит к увеличению применения химических средств защиты растений в картофельных агроценозах [6].

Для охраны здоровья населения и уменьшения воздействия пестицидов на природу, активно развиваются биологические методы защиты растений [7, 8]. Использование передовых, биологически ориентированных агротехнологий является многообещающим способом производства экологически чистых овощей и картофеля. Данные технологии должны строиться на сочетании последних достижений биологии и инженерии и быть приспособлены к определенным условиям выращивания культур [2, 9].

Установлено что, эффективность фунгицидной обработки картофеля протравителями и биопрепаратами варьируется в зависимости от почвенно-климатических условий каждой зоны. Следовательно, для конкретной местности необходимо установить эффекты и оценить биологическую действенность применяемых средств [10].

Использование биопестицидов дает возможность заменить химические препараты в защите растений, что положительно влияет на окружающую среду, уменьшая химическое воздействие пестицидов. Одновременно с этим наблюдается повышение качества и увеличение урожая картофеля, а также сокращение производственных затрат [1, 6, 11].

Цель исследования состоит в том, чтобы установить наилучшую комбинацию характеристик водного режима и комплекса мер защиты картофеля при использовании орошения в Нижнем Поволжье.

Условия, материалы и методы. В 2023-24 годах научная работа велась на участке ВНИИОЗ, который является филиалом ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», согласно заранее разработанной схеме. В ходе работы анализировалось влияние фактора А (водный режим): A_1 – поддержание увлажнения не ниже 80 % НВ в почвенном слое на глубине 0,4 м от посадки до стадии бутонизации; A_2 – поддержание увлажнения не ниже 80 % НВ в слое 0,4 м с момента посадки до стадии бутонизации, а затем его снижение до 0,6 м.

Фактор В (сорта картофеля): B_1 – сорт Ред Скарлетт (ранний, контрольный образец); B_2 – сорт Гулливер (ранний); B_3 – сорт Любава (ранний).

Фактор С (СЗР): C_1 – использование биологического способа; C_2 – применение химического способа (контроль).

Для реализации биологического подхода применялась многоступенчатая схема. На первом этапе осуществлялась предпосевная обработка клубней смесью, состоящей из Геостим Фит А (3 л/т), Геостим Фит Ж (2 л/т), Гумел Люкс (2 л/т) и Гелиос Супер (2 л/т). В периоды интенсивного развития надземной части растений, когда ботва начинала закрывать междурядья, при формировании цветочных бутонов и в фазе цветения проводилось опрыскивание биопрепаратами. В этих целях использовалась комбинация, включающая Геостим Фит Ж (1,5 л/га) в сочетании с БСка-3 (4 л/га), Импровер (50 мл), Бфтим (4 л/га), Гумел Люкс (1,0 л/га), Гелиос Азот (3,0 л/га), Гелиос Трио (0,5 л/га) и Гелиос Супер (2 л/га). В случае, если популяция колорадского жука достигала критических значений, превышающих допустимые экологические нормы, применялся Инсетим (4,0 л/га).

Химическая защита растений осуществлялась в несколько этапов: перед посадкой клубни обрабатывались фунгицидным протравителем Максим, КС, в дозировке 0,4 л/т; в период интенсивного развития ботвы проводилось два опрыскивания смесью фунгицида Ревус, КС (0,6 л/га) и инсектицида Регент, ВДГ (0,025 кг/га) [13]. Также, в фазе бутонизации, дважды применяли смесь фунгицида Дискор, КЭ (0,4 л/га) с инсектицидом Эфория, КС (0,25 л/га) [13]. Завершающим этапом было двукратное опрыскивание смесью фунгицида Танос (0,6 л/га) и инсектицида Регент (0,025 кг/га) [12].

Под урожайность клубней в 30 т/га, на экспериментальном участке было внесено удобрение азофоска в количестве $N_{150}P_{60}K_{130}$ с помощью разбрасывателя РУМ-500.

Опыт проводился в трехкратной повторности с систематическим расположением делянок в один ярус. Площадь делянки для изучения орошения составляла 833 м^2, для сортоиспытания – 278 м^2, а для оценки средств защиты растений – 139 м^2. Общая площадь опытного участка – 0,5 га. Плотность посадки составляла 60 тысяч растений на гектар. Орошение осуществлялось методом дождевания посредством шланго-барабанной дождевальной машины «Rainstar».

В период с двадцатого по тридцатое октября осуществлялась вспашка зяби на глубину от 0,25 до 0,27 метров. В марте, также в последней трети месяца, проводилось двойное боронование. Перед формированием гребней (в промежутке с десятого по тридцатое мая) вносились минеральные удобрения. Обработка участка осуществлялась агрегатом «Румпстад Доминатор» с использованием трактора МТЗ-82 для подготовки гребней с помощью фрезерного культиватора RF-4.

Посадка картофеля была произведена 29 июня 2023 года и 2 июля 2024 года картофелесажалкой СН-4Б с плотностью посадки 60 тысяч клубней на гектар.

Условия вегетации в 2023 году характеризовались очень засушливыми, а в 2024 году – засушливыми, что отражено в значениях гидротермического коэффициента (ГТК) 0,3 и 0,4 соответственно.

Исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками [Доспехов Б. А., 1985; Методика полевого опыта в условиях орошения, 1983].

Результаты и обсуждение. При установленном режиме орошения 80 % НВ в увлажняемом горизонте 0,4 м в 2023 г сделано 13 поливов, а в 2024 г. 17 поливов по 230 м^3/га. При режиме орошения 80 % НВ в горизонте 0,4 м от посадки до стадии бутонизации картофеля в 2023 г. было проведено 5 поливов, в 2024 г. – 6 поливов по 230 м^3/га; с увеличением горизонта увлажнения до 0,6 м до конца вегетации в 2023 и 2024 годах сделано 7 поливов по 300 м^3/га (таблица 1).

Таблица 1 – Число поливов и нормы
Table 1 – Number of waterings and norms

Водный режим почвы / Water regime of the soil	Число поливов, шт. / Number of waterings, pcs.		Поливная норма, $м^3$/га / Irrigation rate, m^3/ha
	2023 г	2024 г	
80 % НВ, h=0,4 м / 80 % ММС, h=0,4 m	13	17	230
80 % НВ, h = 0,4 и 0,6 м / 80 % ММС, h = 0,4 and 0,6 m	5/7	6/7	230/300

Примечание: числитель – число поливов в горизонте влажности почвы 0,4 м, знаменатель – в горизонте влажности почвы 0,6 м.
Note: the numerator is the number of waterings in the 0.4 m soil moisture layer, and the denominator is the number of waterings in the 0.6 m soil moisture layer.

Из анализа таблицы 2 видно, что минимальное количество семенных и товарных клубней в одном гнезде было сформировано в посадках сорта Ред Скарлетт в варианте химической системы защиты в сочетании с режимом орошения 80 % НВ при дифференциации глубины увлажнения почвы, которое составило соответственно 1,6 и 3,8 шт.

Таблица 2 – Параметры урожайности картофельных клубней, характеризующие одно растение (2023-2024 гг.)
Table 2 – Potato tuber yield parameters characterizing a single plant (2023-2024)

Система защиты растений / Plant protection system	Название сорта / Variety name	Количество клубней, шт. / Number of tubers, pcs.			Масса клубней, г / Mass of tubers, g			Общий вес клубней г / Total weight of tubers, g
		Сем. / seed potato	Тов. / commercial potatoes	н/к / not in good condition	Сем. / seed potato	Тов. / commercial potatoes	н/к / not in good condition	
80 % НВ, h = 0,4 и 0,6 м / 80 % ММС, h = 0,4 and 0,6 m								
Химическая / Chemical	Ред Скарлетт / Red Scarlett	1,6	3,8	1,2	64	378	21	463
	Гулливер / Gulliver	4,7	5,1	2,9	124	464	68	656
	Любава / Lyubava	3,1	4,1	1,9	98	361	46	505
Биологическая / Biological	Ред Скарлетт / Red Scarlett	1,9	4,3	1,5	77	417	27	521
	Гулливер / Gulliver	5,0	6,2	4,1	156	544	90	790
	Любава / Lyubava	3,7	4,3	2,9	131	428	78	637
80 % НВ, h = 0,4 м / 80 % ММС, h = 0,4 m								
Химическая / Chemical	Ред Скарлетт / Red Scarlett	2,6	4,4	1,5	94	558	27	679
	Гулливер / Gulliver	5,0	5,5	3,3	183	507	80	770
	Любава / Lyubava	3,3	4,3	2,2	145	397	60	602
Биологическая / Biological	Ред Скарлетт / Red Scarlett	3,1	4,7	1,7	113	575	34	722
	Гулливер / Gulliver	5,3	6,4	4,5	230	640	119	989
	Любава / Lyubava	3,9	4,5	1,9	193	546	59	798

Примечание / Note: сем. – семенной / seed potato; тов. – товарный / commercial potatoes; н/к – некондиция / not in good condition.

В посадках сорта Гулливер количество семенных и товарных клубней при обработке биологическими препаратами в сочетании с водным режимом 80 % НВ в слое увлажнения почвы 0,4 м увеличилось и составило 5,3 и 6,4 шт. соответственно.

Изучение информации из таблицы 2 показывает, что наибольшая общая масса сформировавшихся клубней с одного гнезда была зафиксирована у сорта Гулливер, в ранее описанных условиях, достигнув значения 989 грамм. Это превышает показатели сортов Ред Скарлетт и Любава на 267 и 191 грамм соответственно.

Из графического изображения на рисунке 1 видно, что в ходе исследования сорт Гулливер продемонстрировал наибольшую продуктивность. Так, продуктивность семенных и товарных клубней этого сорта колебалась от 5,3 до 27,5 т/га в зависимости от режима орошения и защиты растений.

Урожайность сортов картофеля Ред Скарлетт и Любава характеризуется сопоставимыми результатами, так как разница в количестве собранного урожая невелика. В частности, объем товарных клубней Ред Скарлетта составлял от 16,3 до 24,7 тонн на гектар, в то время как у Любавы данный параметр изменялся от 15,5 до 23,5 тонн на гектар. В посадках сорта Ред Скарлетт при сочетании режима орошения на уровне 80 % НВ в горизонтах увлажнения 0,4 и 0,6 м с химической СЗР получена наименьшая продуктивность семенных клубней, которая составила 2,8 т/га. Наибольший объём семенных клубней получен у сорта Гулливер в комплексе режима орошения на уровне 80 % НВ в горизонте увлажнения 0,4 м и биологической СЗР, которая составила 9,9 т/га.

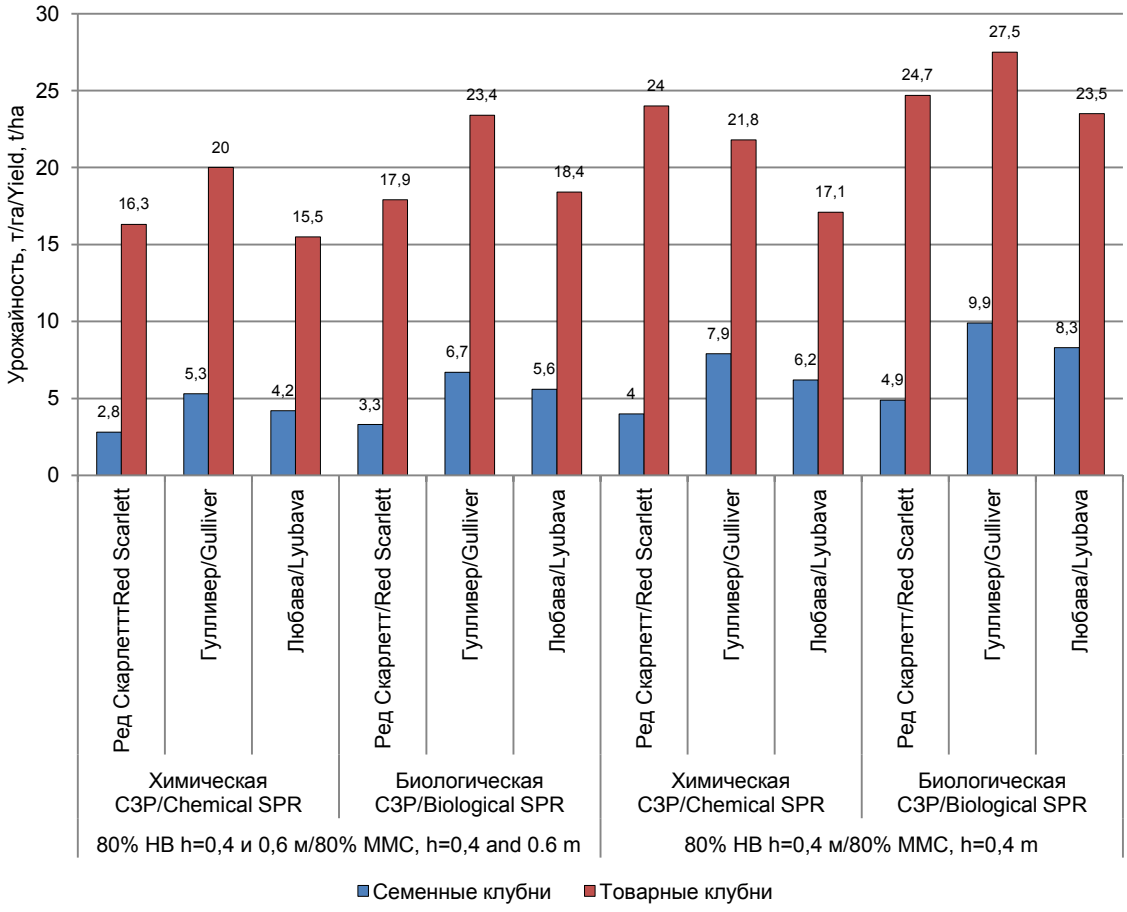


Рисунок 1 – Урожайность сортов картофеля в зависимости от факторов опыта (2023-2024 гг.)
Figure 1 – Potato variety yields depending on experience factors (2023-2024)

Изучение сведений из таблицы 3 выявило, что общий расход воды на полив картофеля при поддержании влажности на уровне 80 % НВ в почвенных слоях 0,4 и 0,6 м составил 4544 м^3/га. Однако, когда орошение на уровне 80 % НВ осуществлялось только в слое 0,4 м, указанный объем увеличился до 4880 м^3/га.

Поддержание влажности не менее 80 % от наименьшей влагоемкости (НВ) на глубинах 0,4 и 0,6 метра привело к тому, что оросительная вода обеспечила 76,6 % от общего объема эвапотранспирации. Осадки из атмосферы покрыли 19,1 % потребности растений в воде, в то время как вклад почвенных запасов влаги составил 4,3 % от суммарного водопотребления культуры (таблица 3).

Таблица 3 – Эвапотранспирация посадок картофеля (2023-2024 гг.)
Table 3 – Evapotranspiration of potato plantings (2023-2024)

Водный режим почвы / Water regime of the soil	Приходные статьи водного баланса / Incoming articles of the water balance						Суммарное водопотребление / Total water consumption	
	оросительная норма / irrigation rate		атмосферные осадки / atmospheric precipitation		запасы почвенной влаги / soil moisture reserves			
	$м^3$/га / m^3/ha	%	$м^3$/га / m^3/ha	%	$м^3$/га / m^3/ha	%	$м^3$/га / m^3/ha	%
80 % ММС, h = 0,4 and 0.6 m	3480	76,6	868	19,1	196	4,3	4544	100,0
80 % ММС, h = 0,4 m	3910	80,1		17,8	102	2,1	4880	100,0

Поддержание влажности не менее 80 % от наименьшей влагоемкости на глубине 0,4 метра привело к тому, что оросительная вода стала основным источником влаги, обеспечивая 80,1 % от общего объема. Оставшаяся часть влаги поступала из других источников, а именно из атмосферных осадков, которые составили 17,8 %, и из запасов почвенной влаги, доля которых была всего 2,1 %.

При вычислении по технологическим картам нами определены затраты на производство картофеля при орошении дождеванием, с учетом цен четвёртого квартала 2024 года. Так, затраты на 1 тонну семенных клубней составили 150 000 руб., а товарных – 35 000 руб.

Таблица 4 – Экономическая эффективность возделывания сорта Гулливер
Table 4 – Economic efficiency of cultivation of the Gulliver variety

Клубни / Tubers	Система защиты / Protection system	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. / The cost of 1 ton, rub.	Чистый доход на 1 га, руб ./ Net income per 1 ha, rub.	Рентабельность, % / Profitability, %
80 % НВ, h = 0,4 и 0,6 м / 80 % ММС, h = 0,4 and 0.6 m							
Семенные / Seed	Биологическая / Biological	6,7	223 120,0	1 005 000,0	33 301,5	781 880,0	350,4
	Химическая / Chemical	5,3	229 458,0	795 000,0	43 294,0	565 542,0	246,5
80 % НВ, h = 0,4 м / 80 % ММС, h = 0,4 m							
Семенные / Seed	Биологическая / Biological	9,9	228 709,0	1 485 000,0	23 101,9	1 256 291,0	549,3
	Химическая / Chemical	7,9	235 281,0	1 185 000,0	29 782,4	949 719,0	403,7
80 % НВ, h = 0,4 и 0,6 м / 80 % ММС, h = 0,4 and 0.6 m							
Товарные / Commercial	Биологическая / Biological	23,4	223120,0	819000,0	9535,0	595880,0	267,1
	Химическая / Chemical	20,0	229458,0	700000,0	11472,9	470542,0	205,1
80 % НВ, h = 0,4 м / 80 % ММС, h = 0,4 m							
Товарные / Commercial	Биологическая / Biological	27,5	228 709,0	962 500,0	8 316,7	733 791,0	320,8
	Химическая / Chemical	21,8	235 281,0	763 000,0	10 792,7	527 719,0	224,3

Анализ экономических показателей (таблица 4) показывает, что в варианте орошения 80 % НВ на глубинах 0,4 и 0,6 м в сочетании с химзащитой наблюдались наименьшие чистые доходы на 1 га для семенных и товарных клубней: 565 542 руб. и 470 542 руб. соответственно, с рентабельностью 246,5 % и 224,3 %.

Наилучшие результаты в плане экономической эффективности, выраженные в чистой прибыли и рентабельности, были зафиксированы при использовании режима орошения, поддерживающего влажность на уровне 80 % от наименьшей влагоемкости в слое почвы 0,4 м, в сочетании с применением биологических методов защиты растений. При этом чистая прибыль достигла 1 256 291,0 руб./га, а рентабельность составила 549,3 % для семенных клубней. Для товарных клубней эти показатели составили 733 791,0 руб./га и 320,8 % соответственно.

Заключение. В Нижнем Поволжье при увлажнении почвы не менее 80 % НВ на глубине до 0,4 м в течение всего вегетационного периода, в совокупности с биологической защитой картофельных посадок, адаптированной к фазам роста, привело к заметному увеличению количества и массы клубней – на 9,5-10,2 % и 5,2-26,6 % соответственно. Данный подход также способствовал росту урожайности товарного картофеля до 27,5 т/га, а семенного – до 9,90 т/га. Комплексное воздействие факторов благоприятно сказалось на развитии и продуктивности картофеля в исследуемых условиях. Расчет экономической эффективности показывает, что максимальные экономические показатели, такие как чистый доход и рентабельность отмечались в этом же варианте и составили 1 256 291,0 руб./га и 549,3 % для семенных клубней, 733 791,0 руб./га и 320,8 % для товарных клубней.

Conclusion. In the Lower Volga region, when the soil was moistened with at least 80 % moisture at a depth of up to 0.4 m during the entire growing season, combined with the biological protection of potato plantings adapted to the growth phases, led to a noticeable increase in the number and weight of tubers – by 9.5-10.2 % and 5.2-26.6 %, respectively. This approach also contributed to an increase in the yield of commercial potatoes to 27.5 t/ha, and seed potatoes to 9.90 t/ha. The complex effect of factors had a positive effect on the development and productivity of potatoes in the studied conditions. The calculation of economic efficiency shows that the maximum economic indicators such as net income and profitability were noted in the same variant and amounted to 1256291.0 rubles/ha and 549.3 % of seed tubers, 733791.0 rubles/ha and 320.8 % of commercial tubers.

Библиографический список

1. Удалова Е. Ю. Фитометрический показатель и урожайность картофеля в зависимости от применяемых фунгицидовВестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2019. Т. 5. № 2 (18). С. 204-209.

2. Гиченкова О. Г. и др. Эффективность различных систем защиты картофеля в технологии возделывания сортов с пигментированной мякотью. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 103-115.

3. Плеханова Л. П., Булдаков С. А. Эффективность действия биопрепаратов и фунгицидов против болезней растений, клубней картофеля и их влияние на урожайность. Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 9 (87). С. 27-35.

4. Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А. Влияние биопрепаратов на основе Trichoderma и Bacillus subtilis на продуктивность картофеля в условиях орошаемого земледелия Волгоградской области. Аграрная Россия. 2023. № 7. С. 17-23.

5. Новиков А. А., Родин К. А. Агроэкологическая оценка сортов картофеля при орошении в Нижнем Поволжье. Орошаемое земледелие. 2024. № 4 (47). С. 40-44.

6. Родин К. А., Новиков А. А., Новиков А. Е. Совершенствование технологии возделывания картофеля при разных системах защиты растений в условиях Нижнего Поволжья. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 349-361.

7. Бутов А. В., Мандрова А. А. Экологическое качество картофеля при биологизации высокоинтенсивной технологии его возделывания и поливе. Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 2. С. 170-177.

8. Гериева Ф. Т., Газданова И. О. Эффективность применения перспективных биопрепаратов нового поколения в условиях Северо-Кавказского региона. Аграрный вестник Урала. 2021. № 03 (206). С. 2-9.

9. Минин В. Б. и др. Предварительные оценка биологизированной технологии возделывания картофеля на Северо-Западе России. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 2 (99). С. 204-214.

10. Гайнатулина В. В., Хасбиуллина О. И. Влияние химических и биологических препаратов на урожайность, заболеваемость растений и клубней картофеля ризоктониозом. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 6. С. 51-54.

11. Есаулко А. Н. Сигида М. С., Горбатко Л. С., Радченко В. И., Гречишкина Ю. И., Фурсова А. Ю., Устименко Е. А., Айсанов Т. Современные удобрения и получение высоких урожаев экологически чистого картофеля на черноземе выщелоченном. Вестник АПК Ставрополья. 2013. № 4 (12). С. 26-30.

12. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. Минсельхоз России. Москва. 2025. 1367 с.

References

1. Udalova E. Y. Phytometric index and potato yield depending on the applied fungicides Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic sciences. 2019. Vol. 5. No. 2 (18). Pp. 204-209.
2. Gichenkova O. G. et al. The effectiveness of various potato protection systems in the technology of cultivating varieties with pigmented flesh. Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 4 (76). Pp. 103-115.
3. Plekhanova L. P., Buldakov S. A. Effectiveness of biopreparations and fungicides against plant diseases, potato tubers, and their impact on yield. International Research Journal. 2019. No. 9 (87). Pp. 27-35.
4. Gichenkova O. G., Laptina Yu. A. Influence of biopreparations based on Trichoderma and Bacillus subtilis on potato productivity in the conditions of irrigated agriculture of the Volgograd region. Agrarian Russia. 2023. No. 7. Pp. 17-23.
5. Novikov A. A., Rodin K. A. Agroecological assessment of potato varieties under irrigation in the Lower Volga region. Irrigated Agriculture. 2024. No. 4 (47). Pp. 40-44.
6. Rodin K. A., Novikov A. A., Novikov A. E. Improvement of Potato Cultivation Technology under Different Plant Protection Systems in the Lower Volga Region. Melioration and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13. No. 4. Pp. 349-361.
7. Butov A. V., Mandrova A. A. Environmental Quality of Potatoes in the Process of Biologization of High-Intensive Cultivation Technology and Irrigation. Food Processing Engineering. 2018. V. 48. No. 2. Pp. 170-177.
8. Gerieva F. T., Gazdanova I. O. The effectiveness of the use of promising new-generation biopreparations in the conditions of the North Caucasus region. Agrarian Bulletin of Urals. 2021. No. 03 (206). Pp. 2-9.
9. Minin V. B. et al. Preliminary assessment of the biologized technology of potato cultivation in the North-West of Russia. Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. 2019. No. 2 (99). Pp. 204-214.
10. Gainatulina V. V., Khasbiullina O. I. Influence of chemical and biological preparations on the yield, plant and potato tuber diseases caused by Rhizoctonia. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2022. No. 6. Pp. 51-54.
11. Esaulko A. N. Sigida M. S., Gorbatko L. S., Radchenko V. I., Grechishkina Yu. I., Fursova A. Yu., Ustimenko E. A., Aisanov T. Modern fertilizers and obtaining high yields of environmentally friendly potatoes on leached chernozem. Proceedings of the Stavropol Agro-University Complex. 2013. No. 4 (12). Pp. 26-30.
12. State Catalogue of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in the Russian Federation. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Moscow. 2025. 1367 p.

Информация об авторах

Родин К. А., ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9), https://orcid.org/0000-0003-3808-2729, e-mail: rodin.ka@yandex.ru

Новиков А. А., заместитель директора по научной работе, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева, 9), e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

Authors' Information

Rodin K. A., Leading Researcher, Candidate of Agricultural Sciences, 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), https://orcid.org/0000-0003-3808-2729, e-mail: rodin.ka@yandex.ru

Novikov A. A., Deputy Director for Scientific Work, Doctor of Agricultural Sciences, 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), e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-27

THE STUDY OF THE WINTER WHEAT PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND DRY MATTER ACCUMULATION DYNAMICS IN THE LOWER VOLGA REGION CONDITIONS

Sapunkov V. L., Guzenko A. V.

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

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

Received 02.02.2026 Submitted 09.07.2026

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

Abstract

Introduction. The Volgograd region is located in a zone with a limited amount of precipitation. Currently, special attention is being paid to the complex application of plant protection products, fertilizers, biostimulators, as well as the peculiarities of varieties in the cultivation of crops. There is a clear need to improve crop production, which could increase yields per unit area without increasing the number of fertilizers and water

consumption. Photosynthesis plays a key role in shaping crop yields and overall plant productivity. Currently, special attention is being paid to this area, especially important given the experience of early research conducted in the arid steppe regions of the Lower Volga region in the early 2000 years. **The object.** The study on increasing the photosynthetic potential of winter wheat varieties using foliar treatments with biological products based on amino acids and micronutrients, which are important for plant resistance to stress and drought. This experiment was conducted on a test plot in the Gorodishchensky District of the Volgograd Region. The experiment was divided into two factors: Factor A, which included the winter wheat varieties Kamyshanka 5 and DF 2020, and Factor B, which included various nutrients at different stages of development.Materials and methods. *The study of the effect of dietary supplements on the indicators of growth processes and photosynthetic activity of winter wheat in the field conditions of the Lower Volga region was conducted.* **Results.** According to the conducted research, it was found that the treatment with agrochemicals from the Biostim series had a greater effect on the yield and quality of winter wheat. These preparations helped to optimize the balance of nutrients during the growing season, and also protected plants from adverse abiotic effects. In addition, they helped restore crop productivity after experiencing stressful factors. **Conclusion.** Having studied the data, we see that when choosing nutrition for plants with trace elements, it is necessary to be guided by soil and climatic conditions. The reason for this was that in the arid conditions of the Volgograd region, results were obtained that show the important role of amino acids and trace elements in maintaining the balance of nutrients throughout the growing season of plants.

Keywords: *winter wheat photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, winter wheat density, plant dry matter.*

Citation. Sapunkov V. L., Guzenko A. V. The study of the winter wheat photosynthetic activity and dry matter accumulation dynamics in the Lower Volga region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 245-254 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-27.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 633.11"324"

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ДИНАМИКИ НАКОПЛЕНИЯ СУХОЙ МАССЫ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ УСЛОВИЙ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Сапунков В. Л., *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*
Гузенко А. В., *младший научный сотрудник*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Волгоградская область находится в зоне с ограниченным количеством осадков. В настоящее время особое внимание уделяется комплексному применению средств защиты растений, удобрений, биостимуляторов, а также особенностям сортов при выращивании сельскохозяйственных культур. Существует явная необходимость в улучшении растениеводства, которое могло бы увеличить урожайность на единицу площади, не увеличивая при этом объемы вносимых удобрений и расход воды. Фотосинтез играет ключевую роль в формировании урожайности и общей продуктивности растений. В настоящее время особое внимание, это направление особенно важно, учитывая опыт ранних исследований, проведенных в засушливых степных районах Нижнего Поволжья в начале 2000-х годов. **Объект.** Исследование по увеличению фотосинтетического потенциала сортов озимой пшеницы при применении листовых обработок биологическими препаратами, в основу которых входят аминокислоты и микроэлементы, важные для устойчивости растений к стрессу и засухе. Данный опыт проводился на опытном участке в Городищенском районе Волгоградской области. Опыт был разделен на два фактора: Фактор А – сорта озимой пшеницы Камышанка 5 и ДФ 2020 и Фактор В – различные питательные элементы в разные фазы развития. **Материалы и методы.** Проведено исследование влияния биодобавок на показатели ростовых процессов и фотосинтетической деятельности озимой пшеницы в полевых условиях Нижнего Поволжья. **Результаты и выводы.** Согласно проведенным исследованиям установлено, что обработка агрохимикатами из серии «Биостим» оказывает значительное влияние на урожайность и качество озимой пшеницы. Эти препараты способствовали оптимизации баланса питательных веществ в вегетационный период, а также защищали растения от неблагоприятных абиотических воздействий. Кроме того, они помогали восстановить продуктивность культур после воздействия стрессовых факторов. Изучив данные, мы видим, что при выборе микроэлементов для подкормки растений необходимо руководствоваться почвенно-климатическими условиями. Полученные в засушливых условиях Волгоградской области результаты подтверждают важную роль аминокислот и микроэлементов в поддержании баланса питательных веществ на протяжении всего периода вегетации растений.

Ключевые слова: *фотосинтетический потенциал озимой пшеницы, чистая продуктивность фотосинтеза, густота стояния озимой пшеницы, сухое вещество растений.*

Цитирование. Сапунков В. Л., Гузенко А. В. Изучение фотосинтетической деятельности и динамики накопления сухой массы озимой пшеницы для условий Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 245-254. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-27.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Продолжение роста листовой поверхности после достижения максимального значения обусловлено несколькими факторами, включая наличие питательных веществ и условий окружающей среды [1, 5, 11]. После интенсивной фазы роста, когда растение активно накапливает ассимиляционную площадь, начинается ее стабилизауия и, в некоторых случаях, постепенное снижение. Это может быть связано с исчерпанием ресурсов, недостатком влаги или неблагоприятными климатическими условиями, что снижает общую продуктивность посевов [2, 7, 14].

Важно отметить, что сортовые особенности играют ключевую роль в формировании ассимилирующей поверхности [6, 8, 17]. Разные сорта могут иметь различные темпы роста, размеры и формы листьев, что в значительной мере влияет на фотосинтетическую активность. Кроме того, взаимодействие между минеральными удобрениями и регуляторами роста позволяет оптимизировать этот процесс, создавая условия для достижения наилучших результатов [3, 12, 16].

Проведение экспериментальных исследований по анализу этих факторов поможет выявить наиболее эффективные схемы внесения удобрений и применения регуляторов, что станет основой для разработки агрономических рекомендаций [13, 15, 18]. Таким образом, понимание динамики формирования ассимилирующей поверхности озимой пшеницы не только способствует повышению урожайности, но и улучшает устойчивость культур к стрессовым условиям [19, 20].

Цель работы заключается в изучении влияния минеральных удобрений и новых биопрепаратов на формирование фотосинтетической деятельности и динамику ростовых процессов озимой пшеницы в посевах.

Материалы и методы. Исследования проводились на опытных полях ФНЦ агроэкологии РАН в Городищенском районе Волгоградской области в 2022-2024 годах. В испытании использовался двухфакторный опыт:

Фактор А – сорта озимой пшеницы двух селекционных центров: АО «ЩЁЛКОВО АГРОХИМ» (ДФ 2020) и ФНЦ агроэкологии РАН (Камышанка 5). Это сильные сорта пшеницы по всем показателям, сорта интенсивного типа, давно используется в производстве.

Фактор В – три основных яруса интенсификации с применением различных форм удобрений:

$B_К$, минимальный (контроль) – предпосевное удобрение ($NH_4H_2PO_4$+ NH_4NO_3 + KCL в дозе 80 кг/га);

B_2, основной – предпосевное удобрение ($NH_4H_2PO_4$+ NH_4NO_3 +KCl в дозе 80 кг/га), ранневесеннее внесение удобрений (NH_4NO_3 – 100 кг/га) и в фазу колошения (CO $(NH_2)_2$ – 40 кг/га);

B_3, интенсивный – предпосевное удобрение ($NH_4H_2PO_4$ + NH_4NO_3 + KCl в дозе 80 кг/га), ранневесеннее удобрение (NH_4NO_3 – 100 кг/га), листовая обработка:

- в фазу кущения (возобновление вегетации) (Ультрамаг Фосфор Супер (2 л/га) + Гумат Калия Суфлер (0,5 л/га) + Биостим Рост (1 л/га)),
- в фазу флагового листа (Ультрамаг Бор (0,5 л/га) + Ультрамаг Фосфор Актив (2 л/га) + Ультрамаг Медь (1 л/га)),
- в фазу колошения (Биостим Зерновой (1 л/га) + Ультрамаг Сера (1-2 л/га)) + CO $(NH_2)_2$ 40 кг/га.

Глубина заделки 3-4 см, норма высева – 4,0-5,0 млн всхожих семян на гектар. Посев осуществлялся с помощью сеялки СЗС-2,1 «Омичка». Все учёты и наблюдения проводились согласно общепринятым методикам [4, 9, 10].

Результаты и методы. Большую часть поверхности, которая усваивает питательные вещества, занимают листья, где происходит процесс фотосинтеза. Этот процесс также может происходить в других зеленых частях растений, например, в плодах, стеблях и остях, но их вклад в фотосинтетическую активность незначителен. Площадь листьев в посеве с появлением всходов постепенно увеличивается, затем рост ускоряется, и к моменту образования боковых побегов она достигает максимального значения за весь период роста растения.

Анализ данных показал, что наибольшая площадь листьев во все фазы развития была отмечена у сорта ДФ 2020 (таблица 1).

Таблица 1 – Площадь листа пшеницы озимой, тыс. м^2/га
Table 1 – Winter wheat leaf area, thousand m^2/ha

Сорта / Variety	Вариант / Option	Конец осенней вегетации / The end of the autumn growing season	Возобновление весенней вегетации / The resumption of spring vegetation	Выход в трубку / Tube output	Колошение / Earing	Молочная спелость / Milk ripeness
Камышанка 5 / Kamyshanka 5	B_K	13,8	7,7	28,3	34,1	19,2
	B_2	13,2	6,2	32,2	42,6	24,1
	B_3	13,1	7,7	34,2	42,4	24,6
ДФ 2020 / DF 2020	B_K	13,6	7,9	40,8	43,3	22,4
	B_2	13,3	6,5	42,0	43,7	22,9
	B_3	13,0	5,0	36,8	40,1	19,5

Анализируя данные, мы видим, что начиная со времени возобновление весенней вегетации (ВВВ) увеличилась площадь листа от 5,0 тыс. м^2/га на варианте B_3 (ДФ 2020) до 43,7 тыс. м^2/га на варианте (B_2) у этого же сорта.

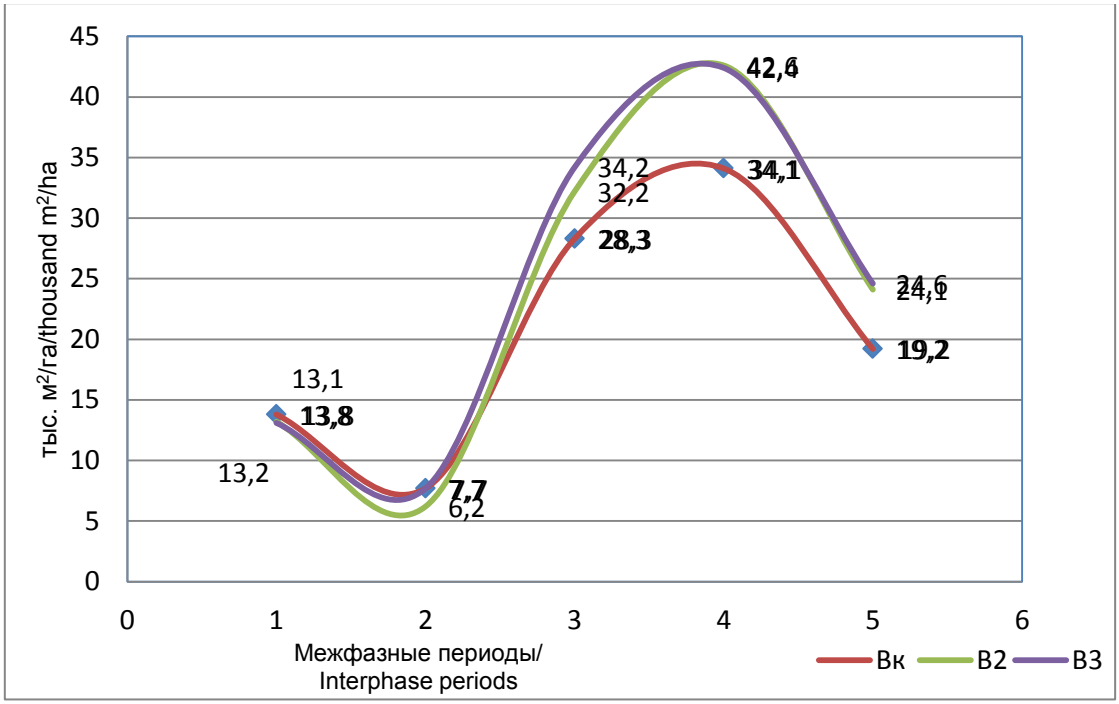


Рисунок 1 – Динамика площади листьев озимой пшеницы сорта Камышанка 5. Межфазные периоды: 1 – конец осенней вегетации; 2 – ВВВВ; 3 – выход в трубку; 4 – колошение; 5 – молочная спелость
Figure 1 – Dynamics of the area of leaves of winter wheat variety Kamyshanka 5. Interphase periods: 1 – end of autumn vegetation; 2 – BBCH; 3 – emergence; 4 – earing; 5 – milk ripeness

На рисунке 1 мы видим, что у сорта озимой пшеницы Камышанка 5 на фазе «возобновление весенней вегетации» контрольный вариант отставал от вариантов B_2 и B_3. Между вариантами от фазы «возобновление весенней вегетации – выход в трубку» была небольшая разница, но в фазу «колошение-молочная спелость» варианты показали одинаковые

результаты. Контрольный вариант отставал от вариантов B_2 и B_3 по площади листовой поверхности на 5,4 тыс. м^2/га. С момента наступления фазы «колошение» как в опытной, так и в контрольной группах наблюдалось заметное сокращение площади листьев.

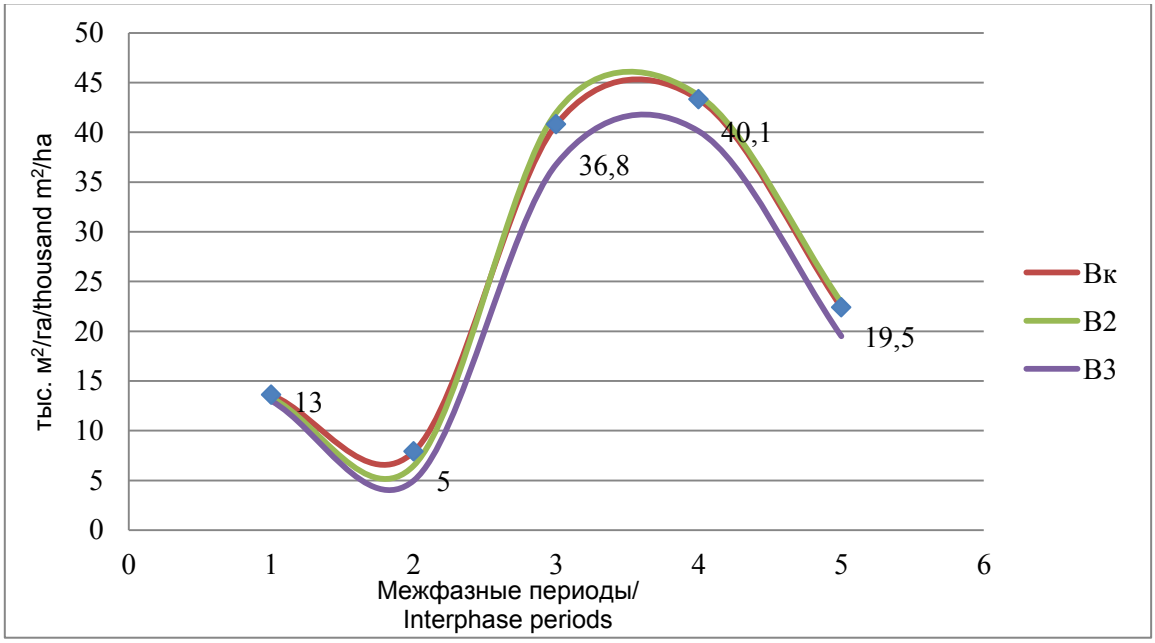


Рисунок 2 – Динамика площади листьев озимой пшеницы сорта ДФ 2020 по фазам развития, тыс. м^2/га.
Межфазные периоды:1 – конец осенней вегетации; 2 – ВВВВ; 3 – выход в трубку; 4 – колошение; 5 – молочная спелость
Figure 2 – Dynamics of the leaf area of the DF 2020 winter wheat variety by development phases, thousand m^2/ha.
Interphase periods:1 – end of autumn vegetation; 2 – BBCH; 3 – heading; 4 – earing; 5 – milk ripeness

У сорта ДФ 2020 (рисунок 2) вариант B_3 отставал от контроля и варианта B_2 по всем фазам развития озимой пшеницы в среднем на 10 %.

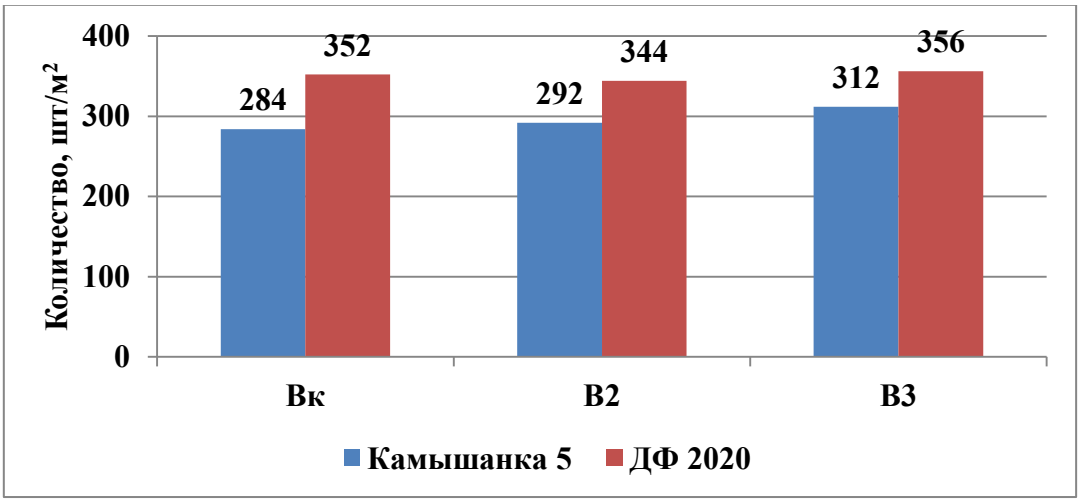


Рисунок 3 – Густота стояния растений озимой пшеницы при возобновлении весенней вегетации, шт./м^2
Figure 3 – Density of winter wheat plants during the resumption of spring vegetation, pcs/m^2

Наибольшее количество растений озимой пшеницы (рисунок 3) наблюдалось у сорта ДФ 2020 на варианте B_3 – 356 шт./м^2, наименьшее у сорта Камышанка 5 на контрольном варианте.

Фотосинтетический потенциал озимой пшеницы формируется в два этапа: в осенний и весенне-летний период. Размер каждого растения напрямую связан с его состоянием перед зимой, а также с тем, как оно перенесло зимовку, в то время как плотность стебле-

стоя влияет на этот процесс. Результаты наших исследований продемонстрировали, что как фотосинтетический потенциал, так и площадь листьев подвержены изменениям в результате внесения удобрений и зависят от сорта пшеницы (таблица 2).

Таблица 2 – Фотосинтетический потенциал пшеницы озимой, тыс. м^2 дн./га
Table 2 – Photosynthetic potential of winter wheat, thousand m^2 days/ha

Сорт / Variety	Вариант / Option	Конец весенней вегетации (29 дн.) / The end of the autumn growing season (29 days)	Выход в трубку (24 дн.) / Tube output (24 days)	Колошение (32 дн.) / Earing (32 days)	Молочная спелость (17 дн). / Milk ripeness (17 days)	Итого / Total
Камышанка 5 / Kamyshanka 5	$B_К$	400,2	679,2	1091,2	326,4	2 497,0
	B_2	382,8	772,8	1363,2	409,7	2 928,5
	B_3	379,9	820,8	1356,8	418,2	2 975,7
ДФ 2020 / DF 2020	$B_К$	394,4	979,2	1385,6	380,8	3 140,0
	B_2	385,7	1008	1398,4	389,3	3 181,4
	B_3	377	986,4	1414,4	396,1	3 173,9

Наивысший фотосинтетический потенциал посевов наблюдается в период колошения. Наиболее выдающийся показатель зафиксирован у сорта ДФ 2020 в варианте (B_2) – 1398,4 тыс. м² дн./га, тогда как минимальные результаты были у сорта Камышанка 5 в контрольной группе. Применение макро- и микроудобрений положительно сказалось на продолжительности работы ассимиляционной поверхности, увеличив её размер и способствуя росту фотосинтетического потенциала озимой пшеницы на 38 %.

Солнечная энергия оказывает значительное влияние на образование сухих веществ. При этом связь между урожайностью разных культур зависит от доли биомассы, которую составляет хозяйственный урожай. В отношении зерновых культур не установлен строгий зависимый ряд, однако известно, что определенный уровень урожая зерна соответствует конкретной величине общего сухого вещества биомассы.

С динамикой увеличения листовой поверхности тесно связаны показатели накопления сухого вещества по фазам вегетации (таблица 3).

Таблица 3 – Накопление сухого вещества растениями озимой пшеницы по фазам вегетации по различным вариантам, г/м^2
Table 3 – Accumulation of dry matter by winter wheat plants by vegetation phase for different options, g/m^2

Сорт / Variety	Вариант / Option	Выход в трубку / Tube output	Колошение / Earing	Молочная спелость / Milk ripeness
Камышанка 5 / Kamyshanka 5	$B_К$	242	390	397
	B_2	242	396	403
	B_3	259	450	436
ДФ 2020 / DF 2020	$B_К$	352	389	528
	B_2	339	377	495
	B_3	293	314	313

Сорта озимой пшеницы в фазе «выход в трубку» продемонстрировали максимальное содержание сухого вещества, причем больше всего его образовалось у сорта Камышанка 5 на варианте (B_3) – 450 г/м^2. Немного ниже показатель на варианте B_2 у этого же сорта. Наименьший результат у сорта ДФ 2020 на варианте B_3 – 314 г/м^2, что ниже контрольного варианта на 40 %. На этапе «колошения» озимая пшеница активно наращивала свою надземную массу. Увеличение содержания сухого вещества по сравнению с фазой «выход в трубку» составило свыше 20 %, а к фазе «молочной спелости» этот показатель возрос на 12 %.

С началом весеннего вегетационного периода чистая продуктивность фотосинтеза начинает расти, так как растения не накладывают тени друг на друга и все их листья получают достаточное освещение. Максимальные значения продуктивности фотосинтеза наблюдаются в фазе «молочной спелости», что связано с активным развитием листовой

поверхности. Наибольшие показатели фотосинтетической активности (таблица 4) зафиксированы у сорта Камышанка 5 и составили 3,94 кг/тыс. м²/день. Чуть ниже эти значения у сорта ДФ 2020 на варианте (B_2). В фазе «колошение» использование минеральных удобрений уменьшало нагрузку на фотосинтетические органы растений. При этом с увеличением дозы удобрений наблюдается снижение значения чистой продуктивности фотосинтеза.

Таблица 4 – Чистая продуктивность фотосинтеза, кг/тыс. м^2/ дн.
Table 4 – Net photosynthetic productivity, kg/1000 m^2/day

Сорт / Variety	Вариант / Option	Фазы развития / Phases of development		
		Выход в трубку / Tube output	Колошение / Earing	Молочная спелость / Milk ripeness
Камышанка 5 / Kamyshanka 5	B_K	2,95	3,35	3,94
	B_2	4,18	2,43	3,16
	B_3	2,47	1,36	2,26
ДФ 2020 / DF 2020	B_K	2,47	1,64	2,62
	B_2	3,11	2,47	2,92
	B_3	2,81	2,83	3,28

Исполненный корреляционно-регрессионный анализ взаимосвязи между показателями чистая продуктивность фотосинтеза и площадь листа, чистая продуктивность фотосинтеза и фотосинтетический потенциал продемонстрировал различную степень (таблица 5).

Таблица 5 – Корреляционная зависимость сортов озимой пшеницы по различным вариантам
Table 5 – Correlation between winter wheat varieties and different variants

Сорт / Variety	Вариант / Option	Уравнение регрессии / Regression equation	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	Типы зависимости / Types of dependence
Зависимость между площадью листьев и фотосинтетическим потенциалом / Relationship between leaf area and photosynthetic potential				
Камышанка 5 / Kamyshanka 5	B_K	У=25,32x+60,76	0,71	линейная / linear
	B_2	У=25,79x+56,05	0,75	линейная / linear
	B_3	$У=239,13e^{0,04x}$	0,83	экспоненциальная / exponential
ДФ 2020 / DF 2020	B_K	У=25,78x+55,07	0,77	линейная / linear
	B_2	У=25,34x + 52,71	0,79	линейная / linear
	B_3	$У=143,88e^{0,05x}$	0,98	экспоненциальная / exponential
Зависимость между фотосинтетическим потенциалом и чистая продуктивность фотосинтеза / Relationship between photosynthetic potential and net photosynthetic productivity				
Камышанка 5 / Kamyshanka 5	B_K	У=-0,57ln(x)+7,07	0,48	логарифмическая / logarithmic
	B_2	$У=4,22e^{-0,4x}$	0,35	экспоненциальная / exponential
	B_3	$У=3,22e^{-0,4x}$	0,69	экспоненциальная / exponential
ДФ 2020 / DF 2020	B_K	У= -0,009x+3,08	0,77	линейная / linear
	B_2	У= -0,004x+3,18	0,33	линейная / linear
	B_3	У= -0,005x+3,38	0,80	линейная / linear
Зависимость между площадью листьев и чистая продуктивность фотосинтеза / Relationship between leaf area and net photosynthetic productivity				
Камышанка 5 / Kamyshanka 5	B_K	У=1,25ln(x)+7,54	0,54	логарифмическая / logarithmic
	B_2	$У=5,37e^{-0,016x}$	0,30	экспоненциальная / exponential
	B_3	$У=4,96e^{-0,027x}$	0,58	экспоненциальная / exponential
ДФ 2020 / DF 2020	B_K	У= -0,03x+3,39	0,49	линейная / linear
	B_2	У= -0,01x+3,14	0,10	линейная / linear
	B_3	У= -0,67ln(x)+5,26	0,98	логарифмическая / logarithmic

Зависимость между площадью листьев и потенциалом фотосинтеза была проанализирована с использованием коэффициента корреляции, учитывая различные вариации (контроль и B_2) для всех сортов озимой пшеницы имел среднюю степень зависимости. Вариант B_3 у сортов озимой пшеницы имел высокую степень зависимости (r^2 = 0,83-0,98) и описывался экспоненциальной функцией. Коэффициент корреляции между фотосинтетическим потенциалом и чистой продуктивностью фотосинтеза наблюдался у сорта ДФ 2020 на варианте B_3 и имел высокую степень зависимости (r^2 = 0,80), остальные сорта и варианты имели среднюю и слабую корреляционную связь. Между величиной чистой продуктивности фотосинтеза и площадью листьев наблюдается высокая степень зависимости у сортов ДФ 2020 на вариантах B_3 (r^2 = 0,98). На других сортах и вариантах корреляционная связь была средней или слабой степени зависимости.

Заключение. Исследования по применению дополнительного внесения питательных элементов в условиях Городищенского района Волгоградской области. В ходе наших исследований было установлено, что внесение дополнительного питания благоприятно влияет на фотосинтетический потенциал озимой пшеницы. Максимальное содержание сухого вещества было отмечено у сорта Камышанка 5 на варианте (B_3) – 450 г/м^2. Максимальное накопление сухой биомассы наблюдалось у растений в стадии восковой спелости зерна, в отличие от полной спелости. Сорт озимой пшеницы ДФ 2020 достиг наивысших показателей фотосинтетической активности на варианте (B_2), составив 1398,4 тыс. м² дн./га. Для сорта Камышанка 5 на варианте ($B_К$) зарегистрированы наибольшие значения продуктивности фотосинтеза – 3,94 кг/тыс. м²/дн. Корреляционные коэффициенты между чистой продуктивностью фотосинтеза и площадью листа, чистой продуктивностью фотосинтеза и фотосинтетическим потенциалом имели различные уровни зависимости.

Conclusion. Research on the use of additional nutrient supplementation in the conditions of the Gorodishchensky district of the Volgograd region. In the course of our research, it was found that the introduction of additional nutrition has a beneficial effect on the photosynthetic potential of winter wheat. The maximum dry matter content was noted in the Kamyshanka 5 variety on the variant (B3) – 450 g/m^2. The maximum accumulation of dry biomass was observed in plants at the stage of waxy ripeness of grain, as opposed to full ripeness. The DF 2020 winter wheat variety achieved the highest photosynthetic activity on the (B2) variant, reaching 1,398.4 thousand m² days/ha. For the Kamyshanka 5 variety, the highest photosynthetic productivity was recorded on the (VK) variant, at 3.94 kg/thousand m²/day. The correlation coefficient between net photosynthetic productivity and leaf area, net photosynthetic productivity, and photosynthetic potential had different levels of dependence.

Библиографический список

1. Громова С. Н., Костылев П. И. Роль флагового листа и остей в формировании продуктивности озимой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2018. Т. 58. № 4. С. 32-34.
2. Гузенко А. Ю., Сапунков В. Л. Влияние сроков сева и норм высева на урожайность озимой пшеницы в условиях степной зон ы черноземных почв в Волгоградской области. Аграрная наука. 2022. № 10. С. 108-114.
3. Долгополова Н. В. Эффективность действия микроэлемента молибдена на продуктивность озимой пшеницы в структуре севооборота. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 48-52.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник. М.: Альянс, 2024. 351 с.
5. Ионова Е. В. и др. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания. Зерновое хозяйство России. 2020. Т. 67. № 1. С. 23-27.
6. Костин В. И. и др. Влияние серосодержащих удобрений при ранневесенней подкормке на урожайность и качество озимой пшеницы. Нива Поволжья. 2018. Т. 46. № 1. С. 29-35.
7. Маркова И. Н. и др. Перспективы создания адаптивных сортов твёрдой пшеницы для Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. Т. 63. № 3. С. 141-151.
8. Мамсиров Н. И. и др. Комплексное исследование воздействия стимуляторов роста и микробиоудобрения на продуктивность озимой пшеницы. Новые технологии. 2022. Т. 18. № 4. С. 180-191.
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989.
10. Матюшенко Л. В., Калюшина З. М., Лихачев Б. С. Методика определения силы роста семян. М.: МСХ СССР, Государственная семенная инспекция, 1983.
11. Ничипорович А. А. Фотосинтез и вопросы повышения урожайности растений. Вестник сельскохозяйственной науки. 1966. № 2. С. 1-12.
12. Нуштаева А. В. и др. Влияние микроудобрений на основе хелатных комплексов на всхожесть семян. Нива Поволжья. 2021. Т. 58. № 1. С. 17-22.
13. Носкова Е. Н. и др. Влияние способов обработки почвы и внесения биопрепаратов на пораженность овса корневыми гнилями и листостебельными заболеваниями. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: материалы IV Международной научно-практической конференции. 2018. С. 251-255.

14. Подлесных Н. В. Фотосинтетическая деятельность посевов разных видов озимой пшеницы в условиях лесостепи центрального Черноземья. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2016. Т. 49. № 2. С. 19-30.

15. Семинченко Е. В. Урожайность зерна и сидеральной массы полевых культур в севооборотах Нижнего Поволжья. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16. № 3. С. 358-373.

16. Ерошенко Ф. В. и др. Фотосинтетическая продуктивность растений: учебное пособие. Ставрополь: Сервисшкола, 2020. 115 с.

17. Gyrka A. D. et al. Efficiency of growing winter wheat depending on the soil tillage and sowing systems. Grain crops. 2019. V. 3. Pp. 62-67.

18. Guzenko A. Yu., Seminchenko E. V. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (Hordeum vulgare) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia. Research on Crops. 2023. No 24. Pp. 270-275.

19. Zelenev A. V. et al. Romising agricultural technologies for growing winter wheat for sustainable agricultural development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Art. 012003.

20. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt. Research on Crops. 2022. No.1 (23). Pp. 40-45.

References

1. Gromova S. N., Kostylev P. I. The role of the flag leaf and awnings in the formation of productivity of winter wheat. Grain industry of Russia. 2018. V. 58. No 4. Pp. 32-34.

2. Guzenko A. Yu., Sapunkov V. L. The influence of sowing dates and seeding rates on the yield of winter wheat in the conditions of the steppe zone of chernozem soils in the Volgograd region. Agrarian Science. 2022. No 10. Pp. 108-114.

3. Dolgopolova N. V. The effectiveness of the action of the trace element molybdenum on the productivity of winter wheat in the structure of crop rotation. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2019. No 1. Pp. 48-52.

4. Dospekhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook. M.: Alliance, 2014. 351 p.

5. Ionova E. V. et al. Photosynthetic activity and dynamics of accumulation of dry mass of winter soft wheat plants depending on growing conditions. Grain farming of Russia. 2020. No 1 (67). Pp. 23-27.

6. Kostin V. I. et al. The influence of sulfurcontaining fertilizers during early spring fertilization on the yield and quality of winter wheat. Niva of the Volga region. 2018. V. 46. No 1. Pp. 29-35.

7. Markova I. N. et al. Prospects for the creation of adaptive durum wheat varieties for the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education. 2021. V. 63. № 3. Pp. 141-151.

8. Mamsirov N. I. et al. A comprehensive study of the effects of growth stimulants and microbial fertilizers on the productivity of winter wheat. New technologies. 2022. V. 18. No 4. Pp. 180-191.

9. The methodology of the state variety testing of agricultural crops. Issue two: cereals, cereals, legumes, corn and forage crops. M., 1989.

10. Matyushenko L. V., Kalyushina Z. M., Likhachev B. S. Methodology for determining the strength of seed growth. M.: Ministry of Agriculture of the USSR, State Seed Inspection, 1983.

11. Nichiporovich A. A. Photosynthesis and issues of increasing crop yields. Bulletin of Agricultural Science. 1966. No 2. Pp. 1-12.

12. Nushtaeva A. V. et al. The effect of micronutrients based on chelate complexes on seed germination. Niva of the Volga region. 2021. V. 58. No 1. Pp. 17-22.

13. Noskova E. N. et al. Influence of soil cultivation methods and application of biological products on the root rot and leaf-stem diseases of oats. Methods and Technologies in Plant Breeding and Crop Production: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference. 2018. Pp. 251-255.

14. Podlesnykh N. V. Photosynthetic activity of crops of different types of winter wheat in the conditions of the forest-steppe of the central Chernozem region. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2016. V. 49. No 2. Pp. 19-30.

15. Semenchenko E. V. Grain yield and sideral mass of field crops in crop rotations of the Lower Volga region. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. V. 16. No 3. Pp. 358-373.

16. Eroshenko F. V. et al. Photosynthetic productivity of plants: studies. The manual. Stavropol: Service School, 2020, 115 p.

17. Gyrka A. D. et al. Efficiency of growing winter wheat depending on the soil tillage and sowing systems. Grain crops. 2019. V. 3. Pp. 62-67.

18. Guzenko A. Yu., Seminchenko E. V. The study of the dependence of biological prod-ucts and the yield of spring barley (Hordeum vulgare) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgo-grad region, Russia. Research on Crops. 2023. No 24. Pp. 270-275.

19. Zelenev A. V. et al. Romising agricultural technologies for growing winter wheat for sustainable agricultural development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Art. 012003.

20. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt. Research on Crops. 2022. No.1 (23). Pp. 40-45.

Информация об авторах

Сапунков Виталий Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: 0000-0002-2425-2611, e-mail: svl-01@mail.ru

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

Authors' Information
Sapunkov Vitaly Leonidovich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0002-2425-2611, e-mail: svl-01@mail.ru
Guzenko Andrey Viktorovich, Junior Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3852-5358, e-mail: guzenko-av@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-28

THE AGROMETEOROLOGICAL FACTORS INFLUENCE ON THE ALFALFA YIELD IN THE CONDITIONS OF THE VOLGOGRAD RIGHT BANK

Turko S. Yu., Rybashlykova L. P.

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

Corresponding author E-mail: turko-s@vfanc.ru

Received 18.02.2026 Submitted 15.04.2026

This study was funded within the framework of State Tasks No. 124013000642-9 "Development of the theory and system of measures for the sustainable functioning of pasture ecosystems in arid and sub arid zones of the Caspian Sea region".

Summary

Research has shown that sufficient moisture during the period of active growth, especially during branching, is crucial for the yield of alfalfa. This key stage, which occurs during the first three decades of the growing season (until the end of May), is closely linked to future yields, with a correlation coefficient of up to 0.80 on heavy loamy saline soils and 0.70 on sandy soils. Under normal moisture conditions, alfalfa typically exhibits two growth peaks: during branching and budding. However, unfavorable weather during budding can significantly reduce the hay yield (by 1.3-1.6 t/ha). On average, the hay yield of alfalfa is 1.8 t/ha on heavy loamy saline soils and 3.5 t/ha on sandy soils.

Abstract

Introduction. The article presents the results of the study of the influence of agrometeorological factors on the formation of alfalfa yields in an arid climate on sandy and loamy soils. Alfalfa is characterized as a crop with a high yield potential and the ability to be mowed multiple times per season. Its ability to grow for many years in the same area ensures a stable supply of significant amounts of green mass and hay with a high protein content.**The object.** Alfalfa stands (*Medicago sativa L.*) **Materials and methods.** The research was carried out between 2022 and 2025 on experimental vegetative plots of the hydrological complex with an area of up to 6 m², as well as on production plots with an area of up to 300 m² located in the Volgograd right bank. The experiment was conducted on light chestnut soils of various mechanical compositions (loamy and sandy loam). The reserves of productive moisture were determined using the thermostatic-weight method. The yield of the grass stand was determined by mowing on plots of 1 m2 in 3-fold repetition. The statistical processing of the obtained data was carried out using the MS Excel 2021 program. **Results and conclusions.** The results of the study indicate the dominant role of soil moisture in determining the productivity of alfalfa. It was found that the critical period for the formation of yield is the period of maximum vegetative growth, namely, the branching phase. This period, which covers three decades from the beginning of regrowth to the end of May, demonstrates a significant correlation with yield (r=0.80 for heavy loamy saline soils and r=0.70 for sandy soils). In years with an average level of moisture during the growing season, there are two peaks of linear and weight growth: during the branching phase and during the budding phase. However, unfavorable meteorological conditions during the budding phase can reduce the growth rate and the final yield of hay by 1.3-1.6 t/ha. The average yield of alfalfa hay on heavy loamy saline soils is 1.8 t/ha, while on sandy soils it is 3.5 t/ha.

Keywords: *alfalfa cultivation, climatic conditions for alfalfa cultivation, alfalfa yield, natural pastures, perennial grasses.*

Citation. Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. The agrometeorological factors influence on the alfalfa yield in the conditions of the Volgograd right bank. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 254-263 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-28.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 633.31:551.586

ВЛИЯНИЕ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЮЦЕРНЫ В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОГО ПРАВОБЕРЕЖЬЯ

Турко С. Ю., *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*
Рыбашлыкова Л. П., *кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Данное исследование было выполнено в рамках Государственного задания № 124013000642-9 «Разработка теории и системы мероприятий устойчивого функционирования пастбищных экосистем в аридных и субаридных зонах Прикаспия».

Актуальность. В статье представлены результаты исследования влияния агрометеорологических факторов на формирование урожая люцерны в условиях засушливого климата на песчаных и суглинистых почвах. Люцерна характеризуется как культура с высоким потенциалом урожайности и возможностью многократного укоса за сезон. Ее способность к многолетнему произрастанию на одном участке обеспечивает стабильное получение значительных объемов зеленой массы и сена, отличающихся повышенным содержанием белка. **Объекты исследования:** травостои люцерны (*Medicago sativa L.*). **Материалы и методы.** Исследования выполнялись в период с 2022 по 2025 год на опытных вегетационных участках гидрологического комплекса площадью до 6 м², а также на производственных участках площадью до 300 м² расположенных в Волгоградском правобережье. Эксперимент проводился на светло-каштановых почвах различного механического состава (суглинистых и супесчаных). Запасы продуктивной влаги определяли термостатно-весовым методом. Урожайность травостоя определяли укосным способом на делянках размером 1 м^2 в 3-кратной повторности. Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программы MS Excel 2021. **Результаты и выводы.** Результаты исследования указывают на доминирующую роль почвенного увлажнения при определении продуктивности люцерны. Выявлено, что наиболее критическим для формирования урожайности является увлажнение в период максимального вегетативного прироста, а именно в фазу ветвления. Данный период, охватывающий три декады от начала отрастания до конца мая, демонстрирует значительную корреляционную связь с урожайностью (r = 0,80 для тяжелосуглинистых солонцеватых почв и r = 0,70 для супесчаных). В годы с усредненным уровнем увлажнения в течение вегетационного периода отмечаются два максимума линейного и весового прироста: в фазу ветвления и в фазу бутонизации. Однако неблагоприятные метеорологические условия в фазу бутонизации способны снизить интенсивность роста и конечную величину урожая сена на 1,3-1,6 т/га. Средняя урожайность сена люцерны на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах составляет 1,8 т/га, а на супесчаных – 3,5 т/га.

Ключевые слова: *возделывание люцерны, климатические условия возделывания люцерны, урожайность люцерны, естественные пастбища, посевные многолетние травы.*

Цитирование. Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П. Влияние агрометеорологических факторов на урожайность люцерны в условиях Волгоградского правобережья. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 254-263. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-28.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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 засушливых районах юга России продуктивность естественных пастбищ демонстрирует высокую зависимость от климатических факторов, что обуславливает их значительную межгодовую вариабельность. Установлено, что урожайность посевных многолетних трав характеризуется повышенной стабильностью и превосходит показатели естественных сенокосов в 3-6 раз. Данное преимущество позволяет формировать резервные запасы кормов для зимнего периода, а также обеспечивать потребность в них в период летнего выгорания пастбищ [1, 2]. В засушливой зоне наиболее соле- и засухоустойчивыми кормовыми травами для производства высокопитательных кормов (зелёная биомасса и сено) являются *Medicago*, *Onobrychis*, *Agropyron*, *Elytrigia* и их смеси [3, 4]. Чтобы решить протеиновую проблему в животноводстве и накопить в почве биологический азот, необходимо расширять посевы многолетних бобовых трав [5, 6]. Выживанию люцерны в районах с широким спектром климатических условий и на участках с самыми различными типами почв способствует сильно развитая корневая система. Значительной является роль

люцерны в повышении почвенного плодородия, так как на ее корнях обильно образуются клубеньки с азотфиксирующими микроорганизмами [7, 8]. Люцерна занимает лидирующие позиции среди многолетних бобовых трав в исследуемых засушливых условиях. Эта культура отличается высокой продуктивностью и многоукосностью, что позволяет ей успешно культивироваться на одном участке в течение нескольких лет, обеспечивая стабильно высокие урожаи зеленой массы и сена с превосходным белковым составом [9-11]. Люцерна применяется в подсевах различных агрофитоценозов весенне-летнего использования, а также для предотвращения деградации почв под воздействием эрозионных процессов [12, 13]. Необходимо подчеркнуть, что исследования, посвященные агротехнике и биологическим особенностям люцерны, получили широкое освещение [14-17]. Тем не менее, для достижения существенного прироста урожайности данной культуры важным является её оптимальное размещение в условиях засушливых регионов. Следовательно, требуется детальное изучение климатических требований люцерны, а именно определение параметров, характеризующих её адаптивность к климатическим условиям и типам почв.

Цель исследования – оценка влияния агрометеорологических факторов на формирование урожайности люцерны в зависимости от механического состава почв.

Материалы и методы. Агрометеорологические наблюдения за условиями развития люцерны (*Medicago sativa L.*) проводились на вегетационных площадках уникальной научной установки «Гидрологический комплекс ФНЦ агроэкологии РАН имени Н. Ф. Кулика» (участок А 48.65 СШ, 44.44 ВД) и на производственном полигоне, расположенном в Волгоградской области (Правобережье Волги) (участок В 48.1782514 СШ, 44.5988240 ВД) рисунок 1.

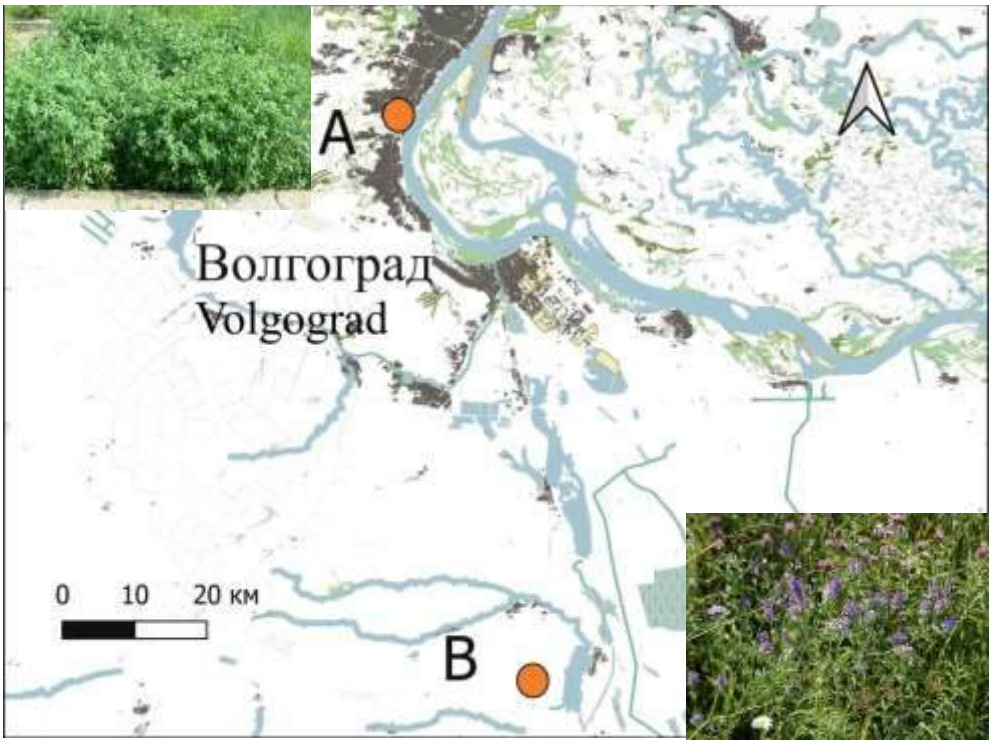


Рисунок 1– Карта – схема расположения объектов исследования
Figure 1 – Map of the location of the research objects

В течение периода (апрель-июль) определялись запасы продуктивной влаги, отмечались состояние и фазы вегетации растений, а также велись метеорологические наблюдения за осадками, температурой и влажностью воздуха. Климатические условия зоны исследований резко континентальные. Годовая сумма осадков составляет 250-400 мм, испаряемость – 700-750 мм. Почвенный покров представлен светло-каштановыми почвами с содержанием гумуса от 0,7 % до 2,1 %. На участке А почвы легкие, лизиметрическая установка заполнена рыхлопесчаным субстратом слоем толщиной 1,4 м с содержанием физической глины 3,84 % и водорастворимых солей 0,03-0,08 %. НВ этого слоя составляет 4,5-5,0 %. Водоудерживающая способность – 95-100 мм. Подстилающая порода – аллюви-

альный суглинок надпойменной террасы р. Волги. На участке В почвы суглинистые, их механический состав определяется преобладанием крупнопылеватой и мелкозернистой фракций. Содержание крупнопылеватых частиц песка колеблется по профилю от 25,0 до 34,9 %. Максимальная гигроскопичность – 7,2 % в горизонте А и 2,3-3,8 % в горизонте В. Данные почвы обладают средней водопроницаемостью, так как с глубиной идет утяжеление гранулометрического состава. Содержание солей по профилю неравномерное – от 0,04 до 2,0 %. Верхняя часть профиля не имеет засоления (в слое 0-40 см плотный остаток составляет 0,1 %). Видимые соли выделены на глубине 60-80 см, плотный остаток – 0,3-0,8 %. В слое 100-140 см присутствует сильное засоление, плотный остаток – 0,8-1,9 %, тип засоления – хлоридный. Реакция водной вытяжки (pH) в слое почвы 0-140 см слабощелочная и составляет 7,5-8,5. Обеспеченность подвижным фосфором и калием очень высокая, азотом очень низкая. Содержание подвижных фосфатов в горизонте А колеблется от 15,0 до 32,5 мг/100 г почвы, калия – 23,7-72,8 мг/100 г., азота нитратного – 2,2-11,2 мг/кг. Глубина залегания грунтовых вод колеблется от 7 до 20 м; возможность возделывания люцерны в этой зоне определяется её засухоустойчивостью. Анализ почв проведен в почвенной лаборатории ФНЦ агроэкологии: определение валового содержания солей почвогрунтов – по методике Е. В. Аринушкиной (1970), гранулометрический состав – по классификации Н. А. Качинского.

Погодные условия периода проведения исследований проанализированы по данным метеостанции г. Волгограда. Обработку метеоданных проводили по следующим показателям: сумма осадков и температуры за фазы «возобновление вегетации-ветвление», «ветвление-бутонизация» (апрель-май), за вегетацию (апрель-июль). Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом (Практикум по земледелию Б. А. Доспехов, 1987). Учёт полученного урожая определяли укосным способом, поделяночно, в трехкратной повторности, используя методические указания по проведению опытов с кормовыми культурами (М.: ВИК, 1997). Уборку люцерны на сено проводили ежегодно в конце фазы цветения – начале плодоношения (конец июня – начало июля). Статистическая обработка результатов исследований выполнена с использованием программы EXCEL 2021.

Результаты и обсуждение. В течение вегетационных периодов (апрель-июль) 2022-2025 годов на территории исследования наблюдался дефицит влаги. Количество осадков было небольшим и распределялось неравномерно (рисунок 2). Так, зафиксированное количество осадков составило 95,9 мм в 2022 году, 109 мм в 2023 году, 85 мм в 2024 году и 133,4 мм в 2025 году. Соответствующие значения гидротермического коэффициента (ГТК) для люцерны (Medicago) в эти же периоды составили 0,35, 0,38, 0,28 и 0,47. Согласно классификации Селянинова, данные показатели ГТК свидетельствуют об очень засушливых условиях, создавая серьезные вызовы для сельскохозяйственных культур. В периоды весенне-летних засух люцерна обладает способностью приостанавливать рост и возобновлять его с выпадением осадков. При достаточном увлажнении она даёт обильную зелёную массу. Рассматриваемые годы наблюдений (2022-2025) были близки по степени увлажнения. Колебания недостатка почвенной влаги наблюдались в пределах от 52 до 76 мм на суглинистых почвах и от 33 до 81 мм на песчаных почвах. Максимальная величина урожая сена люцерны на тяжелосуглинистых почвах 2,4 т/га отмечалась при ее дефиците 28 мм.

С началом весеннего отрастания люцерна предъявляет различные требования к факторам среды не только по фазам вегетации, но и в различные годы жизни. Так, посевы люцерны первого года жизни характеризуются замедленным ходом развития в начальные периоды вегетации и проявляют чувствительность к температурным условиям. У люцерны этот период продолжается до начала образования стеблей.

Наилучший эффект для стадии яровизации проявляется при температуре воздуха не ниже 0 ºС; при понижении минимальных температур воздуха от -1 до -10 °С в течение двух декад после посева, продолжительность периода посев-всходы увеличивается от 30 до 50 дней. При этом среднесуточная температура воздуха за период составила 7-8 °С. С повышением ее до 16 °С продолжительность периода уменьшается до 30 дней.

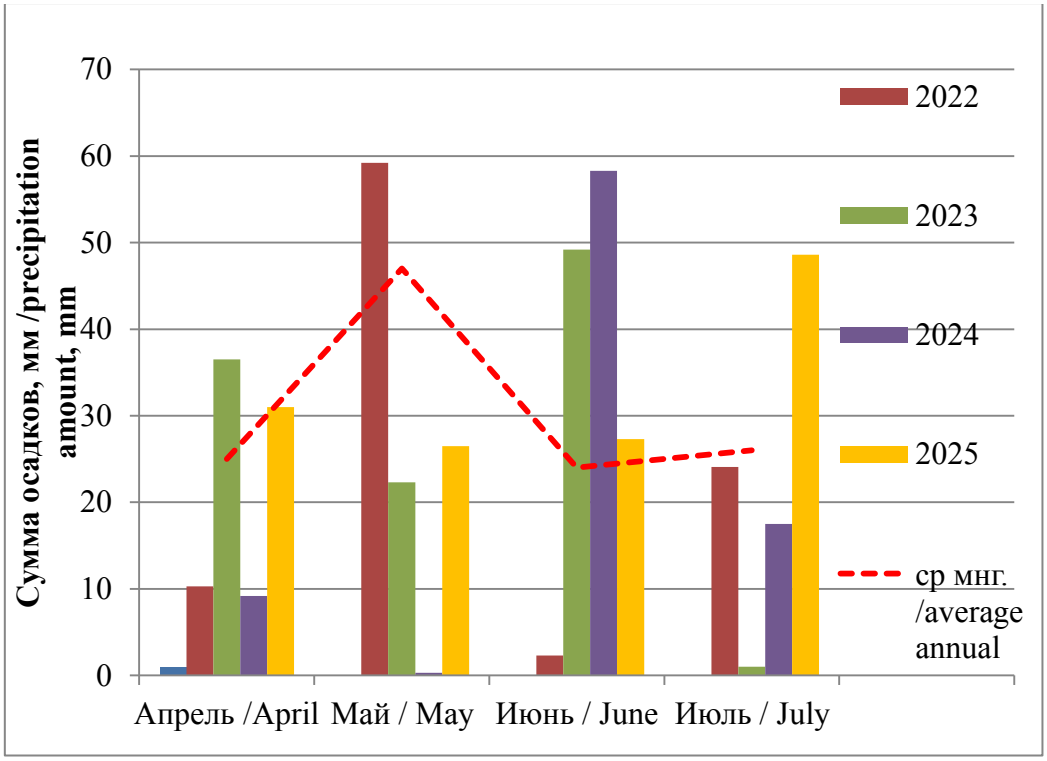


Рисунок 2 – Распределение осадков за 2022-2025 годы исследования, мм (метеостанция Волгоград (Гумрак)
Figure 2 – Precipitation distribution for the 2022-2025 study period, mm (Volgograd (Gumrak) weather station)

Большое значение для появления всходов имеет не только почвенное увлажнение к началу вегетации, но и характер распределения осадков с даты посева. Отсутствие осадков в первые две декады после посева способствовало образованию корки, которая задержала появление всходов и определила их изреженность. Густота стояния растений на 1 м^2 составила 12 растений. Возможность образования корки в ранневесенний период является характерным признаком тяжелых почв, поэтому большое значение имеет правильный выбор срока сева в связи с ожидаемыми погодными условиями. Максимальная высота растений первого года жизни составила 24 см, с величиной линейного среднесуточного прироста 0,6-0,9 см/сут.

Развитие люцерны в последующие годы значительно отличается от развития посевов первого года жизни. Ко второму году она располагает сформированной мощной корневой системой, все фазы развития происходят значительно быстрее, чем в первый год жизни.

Весеннее отрастание люцерны наблюдается при 7-9 °С. При достаточном почвенном увлажнении начало весеннего отрастания во многом определяется температурными условиями предшествующего периода: от устойчивого перехода через 0 до начала возобновления вегетации, которое приходится на вторую половину марта – начало апреля.

Повышение среднедекадной температуры воздуха за указанный период до 9 °С определило активное его начало в 2023-2025 гг.; дата возобновления вегетации отмечена соответственно 24 и 25 марта. В 2022 г. отрастание люцерны отмечено в значительно более поздний срок – 4 апреля, в декаду перехода среднесуточной температуры воздуха 5 и 10 °С. Кроме того, позднюю дату весеннего отрастания определил предшествующий засушливый осенний период 2021 г. В послеуборочный период (первая декада августа) запасы влаги в слое почвы 0-100 см на суглинистых почвах составили лишь 27 мм, а на песчаных – 15 мм.

Для посевов люцерны последующих лет жизни погодные условия определяют продолжительность межфазного периода возобновления вегетации-ветвления. При более поздней дате весеннего отрастания (4 апреля) отмечена наименьшая продолжительность его до 40 дней.

Таблица 1 – Распределение метеорологических элементов и водного режима почвы в период основных фенофаз люцерны на тяжелосуглинистых солонцеватых и супесчаных почвах в 2022-2025 гг.
Table 1 – Distribution of meteorological elements and soil water regime during the main phenological stages of alfalfa on heavy loamy saline and sandy soils in 2022-2025

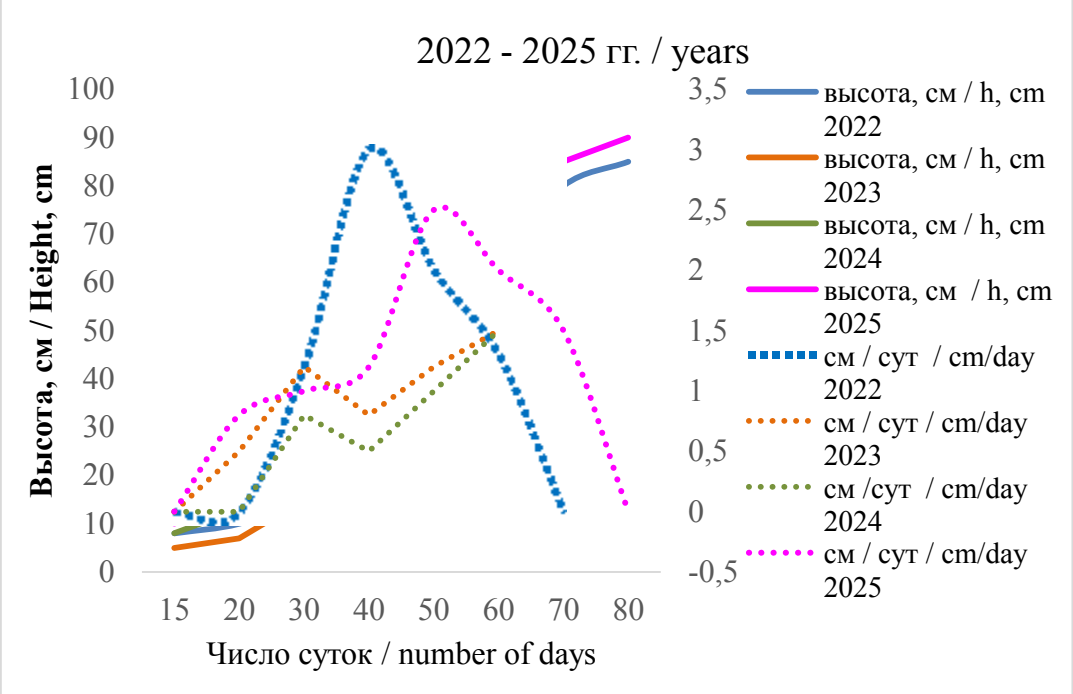
Год / Year	Сумма осадков за ноябрь-март, мм / Precipitation amount for November-March, mm	Фазы отрастание-ветвление (период 2IV-13V) / Phases of regrowth-branching (period 2IV-13V)			Фазы ветвление-бутонизация (период 6V-10VI) / Phases of branching-budding (period 6V-10VI)			Сумма осадков за вегетацию (апрель-июль), мм / Precipitation during the growing season (April-July), mm	Фазы цветение-плодоношение (период VI-VII) / Flowering-fruiting phases (period VI-VII)	
		Общее количество осадков, мм / total precipitation, mm	Запасы влаги (мм) в слоях, см / moisture reserves (mm) in layers, cm		Общее количество осадков, мм / total precipitation, mm	Запасы влаги (мм) в слоях, см / moisture reserves (mm) in layers, cm			Запасы влаги в период уборки, мм (0-100см) / moisture reserve during harvesting, mm (0-100cm)	Урожайность, т/га / yield, t/ha
			0-20	0-100		0-20	0-100			
суглинистые солонцеватые почвы / loamy saline soils										
2022	284,8	20,5	16	110	55	17	98	95,9	33	2,0
2023	142,8	43,3	11	31	15	11	32	109,0	38	1,4
2024	296,1	9,2	16	62	0,3	0	14	85,3	59	1,1
2025	118,2	43,0	12	97	10	8	64	133,4	62	2,4
$НСР_{05}$										1,2
супесчаные почвы / sandy loam soils										
2022	284,8	20,5	34	119	55	18	87	95,9	36	2,7
2023	142,8	43,3	21	80	15	13	35	109,0	35	2,2
2024	296,1	8,6	5	57	0,3	0	9	85,3	39	1,5
2025	118,2	43,0	18	105	10	8	42	133,4	57	3,1
$НСР_{05}$										1,5

Уровень увлажнения почвы оказывает существенное влияние на формирование урожайности, особенно в период интенсивного вегетативного развития, соответствующий фазе ветвления. Данный период, охватывающий три декады с момента начала отрастания до конца мая, является критическим для накопления биомассы. Анализ эмпирических данных по урожайности сена и содержанию влаги в почвенном профиле (0-100 см) за указанный временной интервал позволил построить регрессионные модели. Для суглинистых солонцеватых почв установлена следующая зависимость: y = -37,3577 + 95,2798x, где y представляет урожайность (т/га), а x – запасы влаги (мм) в метровом слое за период с трех декад после начала отрастания до конца мая. Коэффициент корреляции составил 0,80, что свидетельствует о сильной линейной связи. Для супесчаных почв регрессионное уравнение имеет вид y = -59,6935 + 63,5552x, с коэффициентом корреляции 0,70, указывающим также на сильную линейную связь.

Формирование урожая зеленой массы люцерны продолжается в течение всего периода вегетации. Однако максимальная величина прироста, как всего, так и линейного, приходится на фазу бутонизации, когда растения достигают максимальных значений как по высоте, так и по количеству зеленой массы. Поэтому за данный межфазный период лю-

церна испытывает наибольшую потребность во влаге, так как ее потребляет больше и расходует. В связи с этим определяющим фактором в указанную фазу является почвенное увлажнение (таблица 1). Как показывают данные, при запасах влаги в почве и равномерном распределении метеорологических элементов фаза ветвление-бутонизация продолжается 25-28 дней.

На основании данных наблюдений были построены кривые динамики роста и среднесуточного прироста в зависимости от различных метеорологических условий в течение периода вегетации (рисунок 3). Как видно из графика, при благоприятных условиях теплообеспеченности в 2022 и 2025 гг. наблюдался равномерный рост в течение всего периода с максимальной высотой до 80-90 см в фазу плодоношения. Ход кривых в 2023 и 2024 гг. близок к 2022 г., однако максимальная высота растений составила 50-60 см. Более четкое представление о влиянии сложившихся условий на формирование травостоя люцерны дают кривые среднесуточных приростов. В течение периода вегетации наблюдается два максимума линейного прироста: в фазу ветвления, когда величина среднесуточного прироста достигает 1,2 см/сут, кривые имеют одинаковый ход. В декаду, последующую за первым максимумом прироста, в фазу ветвления, наблюдалось напряжение тепла. С увеличением количества дней за декаду с максимальной температурой воздуха свыше 25 °С и дефицитом влажности воздуха до 4-5 дней наблюдалось уменьшение величины прироста до 0,5 см/сут. За оптимальные температурные условия в фазу ветвления можно принять температуры 10-14 °С, которые определили максимальный прирост до 1,5 см/сут.



Год / Year	Дни / Days							
	15	20	30	40	50	60	70	80
2022	1	1	1	2	2	3	3	4
2023	1	1	1	1	2	2	3	4
2024	1	1	1	1	2	2	3	4
2025	1	1	1	2	2	3	3	4

Рисунок 3 – Динамика роста и скорости линейного среднесуточного прироста люцерны по фазам вегетации: 1 – ветвление; 2 – бутонизация; 3 – цветение; 4 – плодоношение
Figure 3 – Dynamics of growth and linear average daily growth rate of alfalfa by vegetation phases: 1 – branching; 2 – budding; 3 – flowering; 4 – fruiting

Второй максимум прироста приходится на 5-6-ю декады, начиная от даты отрастания, в фазу бутонизации. Оптимальные условия в этот период сложились в 2022 г. При запасах влаги до 98 мм в метровом слое и температурном максимуме 25 °С в течение 3-4 дней за декаду наблюдался линейный прирост 3 см/сут. и весовой – 8 г/м^2. Продолжительность периода с максимальным приростом отмечалась в течение пяти суток.

В последующий период вегетации (бутонизация-цветение), когда наблюдается резкое снижение запасов влаги, на формировании урожайности сена сказывается сухость приземного слоя воздуха. Кроме условий влагообеспеченности, важной характеристикой вегетационного периода является также его продолжительность. Как показали результаты наблюдений за динамикой роста люцерны, урожайность сена во многом определяется продолжительностью как межфазных, так и всего вегетационного периода.

Формируя запасы влаги к началу вегетации, осадки осеннего периода определяют также отрастание отавы: у люцерны идёт не только расход питательных веществ на образование новых побегов, но и их отложение в подземных органах. Количество запасных питательных веществ определяет перезимовку, начало весеннего отрастания и интенсивность роста и развития в последующем году. Из четырех лет исследований отрастание отавы отмечалось после уборки люцерны в годы с достаточным увлажнением послеуборочного периода. Запасы продуктивной влаги 60 мм в фазу цветения сохранились лишь в 2025 г. В другие годы они были ниже 33-59 мм. Поэтому исходные запасы влаги для отрастания отавы в метровом слое составили лишь 22 мм. Максимальная высота отавы до 12 см наблюдалась в 2025 г. после уборки первого укоса люцерны в фазу цветения на супесчаных почвах. Это говорит о том, что величина осеннего отрастания люцерны определяется не только увлажнением, но и состоянием самого растения, которое зависит от сроков уборки первого укоса.

Результаты исследований позволили выявить основные периоды, определяющие урожайность сена люцерны. Это предшествующий период (август-март) и период с максимальным приростом – апрель, первая половина мая. При наличии отрастания отавы, которое наблюдается при запасах влаги в послеуборочный период от 36 до 50 мм в метровом слое, максимальный прирост люцерны приходится на фазу ветвления и начало бутонизации. Конечную величину урожайности сена люцерны определяет также продолжительность периода с максимальным приростом. С увеличением продолжительности периода от 5 до 15 суток урожайность сена увеличивается: на тяжелосуглинистых почвах – до 1,1 т/га, на супесчаных – до 1,5 т/га.

На суглинистых солонцеватых почвах запасы влаги в слое 0-100 см в среднем в 2-3 раза выше, чем на супесчаных, что обусловлено различиями в водно-физических свойствах почв: суглинки обладают более высокой влагоёмкостью и меньшей водопроницаемостью по сравнению с легкими по механическому составу супесями.

Несмотря на это, урожайность люцерны на супесчаных почвах в большинстве лет оказалась выше (в среднем на 35-50 %), что связано с лучшей аэрацией корнеобитаемого слоя, более ранним прогревом почвы весной и меньшей выраженностью засоления. Вместе с тем, в 2025 г., при максимальном запасе влаги в слое 0-100 см (62 мм) и относительно высокой сумме осадков в апреле-июле (133 мм), наблюдался пик урожайности и на тяжелосуглинистых (2,40 т/га), и на супесчаных (3,10 т/га) почвах. В 2024 г., когда, несмотря на рекордную за период сумму осадков за ноябрь-март (296,1 мм), в апреле-мае выпало всего 9,5 мм осадков, это привело к критическому дефициту влаги в слое 0-20 см на супесчаных почвах (всего 5 мм) и, как следствие, к снижению урожайности. Это подчеркивает решающее значение распределения осадков по фазам вегетации, а не только их общей суммы. Таким образом, результаты демонстрируют сильную зависимость продуктивности люцерны от сезонной динамики увлажнения, механического состава почвы и температурного режима, особенно в критические фазы – отрастание и бутонизацию.

Выводы. 1. Основным фактором, определяющим урожайность люцерны, является почвенное увлажнение. На рассматриваемой территории средняя урожайность сена люцерны на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах составляет 1,7 т/га, на супесчаных – 2,4 т/га.

2. На тяжелосуглинистых солонцеватых почвах выявлена значительная прямая зависимость (коэффициент корреляции r = 0,80) между показателями весеннего периода и объемом урожая. Для супесчаных почв, согласно регрессионному анализу (уравнение y = -59,6935 + 63,5552x), также зафиксирована сильная положительная корреляция (r = 0,70).

3. Для молодых посевов люцерны (первого года жизни) наилучшие условия для активного роста и развития (фаза ветвления) создаются при температуре воздуха около 23 °С, накоплении суммарных эффективных температур до 250 °С и наличии 60 мм влаги в метровом слое почвы.

4. Весеннее возобновление вегетации люцерны отмечается в сроки, близкие к дате перехода температуры воздуха через 5 °С.

5. В годы, средние по увлажнению, в течение вегетации наблюдается два максимума линейного и весового прироста: в фазу ветвления и в фазу бутонизации.

6. Напряжение метеорологических условий в фазу бутонизации снижает энергию роста и конечную величину урожайности сена люцерны.

Результаты исследований могут служить основой для разработки адаптивных агротехнологий возделывания люцерны в условиях засушливого климата юга России и способствовать повышению устойчивости кормопроизводства в регионе.

Conclusions. 1. The main factor determining the yield of alfalfa is soil moisture. In the area under consideration, the average yield of alfalfa hay on heavy loamy saline soils is 1.7 t/ha, and on sandy loam soils it is 2.4 t/ha.

2. On heavy loamy saline soils, a significant direct relationship (correlation coefficient r=0.80) was found between the spring period indicators and the yield volume. For sandy loam soils, according to regression analysis (equation y = -59.6935 + 63.5552x), a strong positive correlation (r=0.70) was also recorded.

3. For young alfalfa crops (first year of life), the best conditions for active growth and development (branching phase) are created at an air temperature of about 23 °C, a total effective temperature of up to 250 °C, and 60 mm of moisture in the 1-meter soil layer.

4. The spring resumption of alfalfa vegetation is observed at a time close to the date of the transition of air temperature through 5 °C.

5. In years with average moisture conditions during the growing season, there are two maxima of linear and weight growth during the branching and budding phases.

6. The stress of meteorological conditions during the budding phase reduces the growth rate and the final yield of hay.

The research results can serve as a basis for developing adaptive agricultural technologies for cultivating alfalfa in the arid climate of southern Russia and contribute to increasing the sustainability of forage production in the region.

Библиографический список

1. Буянкин В. И., Назарова М. В. Роль многолетних трав в повышении продуктивности агроландшафтов полупустынной зоны Прикаспия. Кормопроизводство. 2021. № 5. С. 3-7.

2. Кадоркина В. Ф., Шевцова М. С. Травосеяние в структуре растениеводства как основа биологизации земледелия и развития кормопроизводства в различных агроэкологических условиях юга Средней Сибири. Кормопроизводство. 2021. № 8. С. 3-7.

3. Буянкин В. И., Манаенков А. С., Лиманская В. Б. Повышение продуктивности деградированных земель засушливой зоны. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук. 2019. 156 с.

4. Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П. Формирование урожая житняка на песчаных и суглинистых почвах Прикаспия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 148-158.

5. Степанова Г. В., Шабля А. С. Некоторые особенности гибридов, созданных с использованием серповидной люцерны (Medicago falcata L.). Кормопроизводство. 2024. № 10. С. 12-16.

6. Капсамун А. Д., Павлючик Е. Н., Иванова Н. Н. Многолетние бобовые травы на осушаемых землях Нечерноземья. Тверь: Тверской государственный университет. 2018. 178 с.

7. Лазарев Н. Н., Кухаренкова О. В., Куренкова Е. М. Люцерна в системе устойчивого кормопроизводства. Кормопроизводство. 2019. № 4. С. 18-25.

8. Абасова А. М., Мансуров Н. М., Пайзулаева Р. М. и др. Влияние приёмов основной обработки почвы на продуктивность люцерны и пырея удлинённого на засолённых почвах Терско-Кумской подпровинции Республики Дагестан. Проблемы развития АПК региона. 2022. № 4 (52). С. 10-14.

9. Капсамун А. Д., Павлючик Е. Н., Иванова Н. Н. и др. Сравнительная оценка эффективности силосования многолетних бобовых трав в смеси со злаковыми травами. Кормопроизводство. 2020. № 2. С. 9-12.

10. Володина И. А., Ермакова Н. А. Отбор образцов люцерны по динамике возобновления роста в засушливых условиях Среднего Поволжья. Самара АгроВектор. 2024. Т. 4. № 4. С. 63-72.

11. Карнаухова Н. А., Сыева С. Я. Кормовая характеристика и состояние ценопопуляций Medicago falcata L. в Сибири. Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 2. С. 6-18.

12. Власенко М. В., Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П. Эффективные технологии восстановления деградированных земель и создания высококачественных сенокосов в бассейне реки Дон. Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 5. С. 14-25.

13. Ur Rahman Kh., et al. Enhancing alfalfa production in marginal sandy soils. Proceedings of the National Acad. of Sci. of the Kyrgyz Republic. 2023. № 7. Pp. 284-292.

14. Uuganzaya M., Dashlkhundev N., Khishigsuren N. et al. Introduction of Russian alfalfa varieties in Mongolian forest steppe zone. Adaptive Fodder Production. 2023. No. 4. Pp. 15-23.

15. Sharipov T. R., Musoev A., Saidzoda R. F., Yusupov V. D. Effective methods of fertilizing alfalfa crops. Reports of the Acad. of Agric. Sci. of Tajikistan. 2024. No.1 (79). Pp. 25-30.

16. Кудряшова Н. И., Кудряшов А. В., Агеев М. О. Интродукция Medicago sativa и Medicago varia в аридных условиях Астраханской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4 (82). С. 136-143.

17. Булахтина Г. К., Кудряшова Н. И., Хюпинина Е. В. Сравнительная характеристика сортов люцерны изменчивой и посевной различного эколого-географического происхождения в агроклиматических условиях Северного Прикаспия. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 201-210.

References

1. Buyankin V. I., Nazarova M. V. The Role of Perennial Grasses in Increasing the Productivity of Agro-Landscapes in the Semi-Desert Zone of the Caspian Sea. Forage Production. 2021. No. 5. Pp. 3-7.

2. Kadorkina V. F., Shevtsova M. S. Grass Seeding in the Structure of Crop Production as a Basis for the Biologization of Agriculture and the Development of Forage Production in Various Agroecological Conditions of Southern Central Siberia. Forage Production. 2021. No. 8. Pp. 3-7.

3. Buyankin V. I., Manaenkov A. S., Limanskaya V. B. Increasing the productivity of degraded lands in the arid zone. Volgograd: Federal Scientific Center for Agroecology, Comprehensive Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences. 2019. 156 p.

4. Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. Formation of the yield of the wheatgrass on sandy and loamy soils of the Caspian Sea. Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 2 (80). Pp. 148-158.

5. Stepanova G. V., Shablya A. S. Some features of hybrids created using sickle-leaved alfalfa (Medicago falcata L.). Fodder Production. 2024. No. 10. Pp. 12-16.

6. Kapsamun A. D., Pavlyuchik E. N., Ivanova N. N. Perennial Legume Grasses on Drained Lands in the Non-Black-Colored Soils Region. Tver: Tver State University. 2018. 178 p.

7. Lazarev N. N., Kukharenkova O. V., Kurenkova E. M. Lucerne in the System of Sustainable Fodder Production. Fodder Production. 2019. No. 4. Pp. 18-25.

8. Abasova A. M., Mansurov N. M., Payzulaeva R. M., et al. Influence of the methods of basic tillage on the productivity of alfalfa and wheatgrass elongated on saline soils of the Terek-Kuma sub-province of the Republic of Dagestan. Problems of the development of the regional agro-industrial complex. 2022. No. 4 (52). Pp. 10-14.

9. Kapsamun A. D., Pavlyuchik E. N., Ivanova N. N., et al. Comparative assessment of the effectiveness of silage of perennial legume grasses in a mixture with cereal grasses. Fodder production. 2020. No. 2. Pp. 9-12.

10. Volodina I. A., Ermakova N. A. Selection of alfalfa samples by the dynamics of renewal of growth in the arid conditions of the Middle Volga region. Samara AgroVector. 2024. Vol. 4, No. 4. Pp. 63-72.

11. Karnaukhova N. A., Syeva S. Ya. Feeding Characteristics and the State of Medicago falcata L. Cenopopulations in Siberia. Timiryazev Biological Journal. 2023. No. 2. Pp. 6-18.

12. Vlasenko M. V., Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. Effective technologies for restoring degraded lands and creating high-quality hayfields in the Don River basin. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. Vol. 23. No. 5. Pp. 14-25.

13. Ur Rahman Kh., et al. Enhancing alfalfa production in marginal sandy soils. Proceedings of the National Acad. of Sci. of the Kyrgyz Republic. 2023. № 7. Pp. 284-292.

14. Uuganzaya M., Dashlkhundev N., Khishigsuren N. et al. Introduction of Russian alfalfa varieties in Mongolian forest steppe zone. Adaptive Fodder Production. 2023. No. 4. Pp. 15-23.

15. Sharipov T. R., Musoev A., Saidzoda R. F., Yusupov V. D. Effective methods of fertilizing alfalfa crops. Reports of the Acad. of Agric. Sci. of Tajikistan. 2024. No.1 (79). Pp. 25-30.

16. Kudryashova N. I., Kudryashov A. V., Ageev M. O. Introduction of Medicago sativa and Medicago varia in the arid conditions of the Astrakhan Region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 4 (82). Pp. 136-143.

17. Bulakhtina G. K., Kudryashova N. I., Khupinina E. V. Comparative Characteristics of Varieties of Varied and Cultivated Alfalfa of Different Ecological and Geographical Origin in the Agroclimatic Conditions of the Northern Caspian Region. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2024. Vol. 19. No. 2. Pp. 201-210.

Информация об авторах

Турко Светлана Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, 97), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2546-4755, e-mail: turkosvetlana73@mail.ru

Рыбашлыкова Людмила Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФНЦ агроэкологии РАН (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский 97), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3675-6243, e-mail: rybashlykova-l@vfanc.ru

Authors' Information

Turko Svetlana Yurievna, 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, Universitetsky Ave., 97), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2546-4755, e-mail: turkosvetlana73@mail.ru

Rybashlykova Ludmila Petrovna, 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, Universitetsky Ave., 97), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3675-6243, e-mail: rybashlykova-l@vfanc.ru

***** ИЗВЕСТИЯ *****
НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
№ 4 (88), 2026

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-29

THE IMPACT OF THE PALLASOVSKAYA IRRIGATION AND DRAINAGE SYSTEM ON THE LAND'S ECOLOGICAL AND RECLAMATION STATE

Fomenko Yu. P.

Federal scientific Center for agroecology, complex land reclamation and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author e-mail: fomenko-y@vfanc.ru

Received 26.03.2026 Submitted 24.04.2026

The work was carried out as part of the state assignment 125020401361-1.

Abstract

Introduction. According to state statistics and departmental reports, approximately 40 % to 60 % (of the total area) of irrigated land in Russia is in an unsatisfactory reclamation state. The long-term operation of reclamation systems in arid conditions leads to the formation of negative processes that worsen the condition of agricultural land (secondary salinization, soil degradation, flooding, etc.). All of this creates sustainable environmental risks and leads to significant losses in the productivity of agricultural landscapes. Conducting high-quality monitoring of the state of reclamation facilities and developing resource-saving technologies will help prevent possible risks during the reconstruction and operation of irrigation systems, thereby reducing the anthropogenic impact on the environment. To do this, it is necessary to assess the level of technical deterioration of hydraulic structures, and to analyze the quality indicators of diffuse runoff, irrigation, drainage, and discharge water, as well as their volumes. The conducted operational monitoring of reclamation systems will allow for the identification and assessment of areas and structures that are in poor condition. Currently, there is a need to involve abandoned and long-term unused agricultural lands in agricultural production. Technical solutions aimed at reducing the anthropogenic load on water bodies will minimize the productive loss of land resources and minimize erosion processes. **Purpose.** Assessment of the ecological and reclamation state of the Pallas irrigation and water supply system in the Volgograd region and development of a set of measures to stabilize the agricultural landscape**. Object.** The Pallasovskaya irrigation and water supply network. **Materials and methods.** The research was conducted on the territory of the Pallasovskaya irrigation and water supply system, located in the Pallasovskii district of the Volgograd region, in the northwestern part of the Caspian Lowland, in the zone of light chestnut soils with a high complexity of the cover and a significant proportion of solonetz soils (from 40 % to 60 %). The climate of the region is sharply continental and arid. The ecological and reclamation assessment was carried out in accordance with the "Methodological Guidelines for Assessing the Ecological and Reclamation Situation on Irrigated Lands" (Kireicheva L. V., Yurchenko I. F., Yashin V. M.). The study included the following: analysis of soil and reclamation conditions; assessment of water regime; hydraulic and chemical studies; agricultural and chemical analysis of soils, and inspection of the technical condition of hydraulic structures. **Results and conclusions.** It has been established that, against the background of the overall soil quality (31 points) and a high proportion of saline and alkali soils (more than 65 % of the irrigated area), there is a progressive accumulation of salts in the irrigation water, with the mineralization rate increasing from 0.957 to 1.24 g/L along the canal and, consequently, on the soils of the irrigated fields. The irrigated area is characterized by a medium-degree sulfate-chloride salinity type, increased salinity, with a sodium content of up to 38 % and an alkaline pH of 8.4. The main processes that disrupt the stable state of the reclamation system are the absence of a collector-drainage network, filtration from earthen canals, disruption of irrigation regimes, and a high natural salinity background. The following adaptive measures have been proposed: chemical and agrotechnical soil reclamation, phytoreclamation and agricultural reclamation, as well as technical modernization of the system, which includes the use of new mineral-polymer composites for anti-filtration casting of channels, the transition to closed pipelines in critical areas, and the implementation of advanced water-saving irrigation technologies for agricultural crops. The conducted research proves the need for regular ecological and reclamation monitoring as a basis for making management decisions aimed at ensuring environmental sustainability and increasing the productivity of reclamation agro-landscapes.

Keywords: *irrigation systems, secondary salinization of soils, groundwater, soils salinity, land degradation, irrigation complexes.*

Citation. Fomenko Yu. P. The impact of the Pallasovskaya irrigation and drainage system on the land's ecological and reclamation state*. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 264-273 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-29.

Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.

Author's contribution. The author of this study was directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. The author of this article has reviewed and approved the final version presented.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

УДК 631.674:631.61

ВЛИЯНИЕ ПАЛЛАСОВСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНО-ОБВОДНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ

Фоменко Ю. П., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания 125020401361-1.

Актуальность. В России по данным государственной статистики и представленных ведомственных отчетов, в неудовлетворительном мелиоративном состоянии находятся порядка 40-60 % (общей площади) орошаемых земель. Многолетняя эксплуатация мелиоративных систем в аридных условиях приводит к формированию негативных процессов, ухудшающих состояние земель сельскохозяйственного назначения (вторичное засоление, деградация почвенного покрова, подтопление и т. д.). Все это создает устойчивые экологические риски и приводит к значительным потерям продуктивности агроландшафтов. Проведение качественного мониторинга состояния объектов мелиоративного фонда во время функционирования оросительных систем, позволит снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду. Для этого необходимо оценить уровень износа гидротехнических сооружений, провести анализ качественных показателей диффузного стока, оросительных, дренажных и сбросных вод на мелиорируемые земли. Проведенный оперативный мониторинг мелиоративных систем позволит определить и выявить участки и сооружения, находящиеся в неудовлетворительном состоянии. На сегодняшний день существует необходимость вовлечения в сельскохозяйственное производство выбывших и неиспользуемых длительное время сельскохозяйственных земель. Внедрение технических решений, направленных на снижение антропогенной нагрузки на водные объекты, позволит свести к минимуму продуктивные потери земельного фонда и минимизировать эрозионные процессы. **Цель.** Оценка эколого-мелиоративного состояния земель на территории Палласовской оросительно-обводнительной системы Волгоградской области и разработка комплекса мероприятий по стабилизации агроландшафта. **Объект.** Палласовская оросительно-обводнительная сеть. **Материалы и методы.** Исследования проводились 2024-2025 гг. на территории Палласовской оросительно-обводнительной системы, расположенной в Палласовском районе Волгоградской области, в северо-западной части Прикаспийской низменности, в зоне светло-каштановых почв с высокой комплексностью покрова и значительной долей солонцов (от 40 % до 60 %). Эколого-мелиоративная оценка выполнена в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке экологической и мелиоративной ситуации на орошаемых землях» (Кирейчева Л. В., Юрченко И. Ф., Яшин В. М.). Исследование включало: анализ почвенно-мелиоративных условий; оценку водного режима; гидрохимические исследования; агрохимический анализ почв и обследование технического состояния гидротехнических сооружений. **Результаты и выводы.** Установлено, что на фоне общего бонитета почв (31 балл) и высокой доли засоленных и солонцеватых разностей (более 65 % орошаемой площади) происходит прогрессирующее накопление солей в оросительной воде, при этом показатели минерализации увеличиваются с 0,957 до 1,24 г/л по течению канала и соответственно на почвах орошаемых полей. Орошаемая территория характеризуется сульфатно-хлоридным типом засоления средней степени, повышенной солонцеватостью, при этом доля натрия составляла до 38 %, а щелочная реакция pH = 8,4. Основными процессами, нарушающими устойчивое состояние мелиоративной системы признаны: отсутствие коллекторно-дренажной сети, фильтрация из земляных каналов, нарушение режимов орошения и высокий естественный фон засоления. В качестве комплекса адаптивных мер предложены: химическая и агротехническая мелиорация почв, фито- и агролесомелиорация, а также техническая модернизация системы, заключающаяся в противофильтрационной облицовке каналов с использованием новых минерально-полимерных композитов, на кретических участках предлагается переход на закрытый трубопровод, а также внедрение передовых водосберегающих технологий полива сельскохозяйственных культур. Проведенные исследования доказывают необходимость регулярного эколого-мелиоративного мониторинга как основы для принятия управленческих решений, направленных на обеспечение экологической устойчивости и повышения продуктивности мелиоративных агроландшавтов.

Ключевые слова: *оросительные системы, вторичное засоление почв, грунтовые воды, солонцеватость почв, деградация земель, ирригационные комплексы.*

Цитирование. Фоменко Ю. П. Влияние Палласовской оросительно-обводнительной системы на эколого-мелиоративное состояние земель. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 264-273. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-29.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Агропромышленное освоение и интенсивное сельскохозяйственное использование территорий в регионах с недостаточным увлажнением, особенно в засушливых и полузасушливых зонах формирует комплексную антропогенную нагрузку на агроландшафты, сопряженную с высокими экологическими рисками. Орошение в зоне рискованного земледелия, к которой относится большая часть Волгоградской области, исторически является стратегическим фактором продовольственной безопасности. [1, 2]. Однако, многолетняя эксплуатация ирригационных комплексов и мелиоративных систем в аридных регионах провоцирует устойчивые нарушения естественных процессов влаго- и солепереноса, что служит триггером для активации процессов деградации земель. Наряду с этим, кумулятивным эффектом также выступает снижение эксплуатационно-технической надежности гидромелиоративных сооружений, что приводит к их преждевременному выходу из строя, ведет к падению сельскохозяйственной продуктивности и усилению экологической нагрузки на ландшафты [3]. Фильтрационные потери на открытых магистральных, распределительных и оросительных каналах при транспортировке поливной воды, нарушение оросительных режимов и т. д. приводит к подъему уровня подземных вод с последующим подтоплением значительных участков и как следствие развитию деградационных почвенных процессов [4, 5, 6].

Палласовская оросительно-обводнительная система, как один из крупных объектов мелиоративного комплекса региона, представляет собой репрезентативную модель для изучения подобных негативных трансформаций.

Территория Палласовского района занимает северо-западную окраину Прикаспийской низменности, в геоморфологическом строении отличается большой сложностью, так, например, в направлении с севера на юг выделяются три морфологически обособленных района по строению рельефа, что в свою очередь имеет принципиальное значение для организации рационального землепользования и территориального планирования.

Ключевой агроэкологической характеристикой территории выступает резко выраженная комплексность почвенного покрова, формирующая сложную мозаику ареалов. Согласно зонально-генетической классификации, здесь доминируют автоморфные светло-каштановые почвы, часто в сильной степени засоленные и осолонцованные, которые закономерно сочетаются с интразональными солончаками. Интегральная оценка плодородия (бонитет) и структура угодий указывают на значительные ограничения для сельскохозяйственного использования.

Таблица 1 – Структура земельных угодий и бонитет почвенного покрова
(составлено автором на основании почвенно-географической базы данных России)
Table 1 – Land use structure and soil cover quality
(compiled by the author based on the Russian soil and geographical database)

Пашня, % / Arable land, %	Сенокосы, % / Haymaking, %	Пастбища, % / Pastures, %	Лес, % / Forest, %	Прочие угодья, % / Other lands, %	Бонитет, балл / Bonitet, point
32	6	36	2	28	31

Как видно из таблицы 1, балл бонитета почв Палласовского района равен 31, что соответствует категории земель с крайне низким естественным плодородием и характеризуется критически низкой устойчивостью к агрогенному прессингу. Это накладывает существенные агроэкологические ограничения и обусловливает чрезвычайно низкую толерантность почв к внешним воздействиям.

Высокая степень мозаичности почвенного покрова сформирована комплексом взаимосвязанных природных факторов. Ведущую роль играет аридный климатический режим, характеризующийся дефицитом атмосферных осадков (250-300 мм/год) на фоне значительной испаряемости (600-800 мм/год).

Анализ мелиоративной обстановки в 2024 году складывается из распределения орошаемых сельскохозяйственных угодий по степени засоленности почв, где большую часть занимают слабосолонцеватые земли – 4382 га, второе место занимают средне- и сильно-солонцеватые – 3709 га, а не солонцеватые – 3505 га. Анализ структуры позволил установить комплекс техногенно-природных причин, индуцирующих процессы вторичного засоления и подъема уровня грунтовых вод (УГВ). В условиях исходной аридности региона эти процессы закономерно провоцируют капиллярный подток минерализованных грунтовых вод к корнеобитаемой зоне и аккумуляцию солей в почвенном профиле.

Анализируя показатели мелиоративного состояния орошаемых земель по глубине залегания грунтовых вод из общей площади орошаемых сельскохозяйственных угодий 11,596 тыс. га, наибольшие площади 7,014 тыс. га находятся, где уровень грунтовых вод более 5 метров, а 3,984 тыс. га, где глубина залегания от 3,0-5,0 метров.

Ключевым техногенным фактором выступает дефицит инженерной инфраструктуры, а именно отсутствие регулируемой дренажно-сбросной сети. Данный недостаток, усугубляемый неэффективной работой оросительной системы и нарушениями водораспределительного режима, приводит к аккумуляции поливных вод и формированию локальных верховодок [7, 8].

Практически все каналы на исследуемой оросительной системе проложены в земляном русле (рисунок 1).



Рисунок 1 – Магистральный канал Палласовской оросительно-обводнительной системы
Figure 1 – Main Channel of the Pallasovskaya Irrigation and Flooding System

Территория, при общей подверженности деградационным процессам, характеризуется значительными площадями пастбищных угодий с потенциалом для их всесезонного использования. Источником водоснабжения выступает р. Торгун, впадающая в Ерусланский залив Волгоградского водохранилища. С учётом аридности климата региона, вода аккумулируется в искусственных водохранилищах (копани) для последующего хозяйственно-бытового водопользования, а также подаётся по магистральным каналам на территорию Республики Казахстан.

Цель настоящей работы – оценка эколого-мелиоративного состояния Палласовской оросительно-обводнительной системы Волгоградской области и разработка комплекса мероприятий по стабилизации агроландшафта.

В этой связи для устойчивого управления орошаемыми землями требуется регулярно проводить эколого-мелиоративную оценку.

Материалы и методы. Эколого-мелиоративная оценка проводилась в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке экологической и мелиоративной ситуаций на орошаемых землях» под редакцией Л. В. Кирейчева, И. Ф. Юрченко, В. М. Яшина. В основу лег комплексный анализ показателей, включающих характеристику мелиоративной нагрузки, состояние водоисточников, качество оросительных и грунтовых вод, а также агрохимические и агрофизические свойства почв.

Исследования на Палласовской оросительно-обводнительной системе включали:

- визуальный осмотр и картирование состояния гидротехнических сооружений;
- отбор проб оросительной воды в четырех точках по трассе магистрального канала (весна и осень 2025 г.) с последующим химическим анализом на содержание главных ионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}) и определение общей минерализации;
- сравнительный отбор почвенных проб (горизонт 0-30 см) на орошаемом и богарном (контроль) участках с анализом водорастворимых солей, pH, а также качественной оценкой карбонатности;
- анализ статистических данных по структуре угодий, засоленности, глубине залегания УГВ и урожайности сельскохозяйственных культур.

Результаты и обсуждение. Анализ инженерной инфраструктуры в 2025 г выявил ключевые факторы, снижающие её эффективность. Доминирующим типом конструкции является открытое земляное русло, что генерирует высокие утечки воды за счет инфильтрации. Полевое обследование подтвердило наличие деградационных явлений, таких как: растрескивание и разрушение бетонных элементов облицовки вблизи водоприёмного сооружения (рисунок 2), а также активное развитие древесно-кустарниковой растительности непосредственно в русле. Последний процесс провоцирует седиментацию взвешенных частиц и сокращение полезного объема русла.



Рисунок 2 – Водозаборное сооружение Палласовской оросительно-обводнительной системы
Figure 2 – Water intake structure of the Pallasovskaya irrigation and flood control system

В основу диагностики эколого-мелиоративной обстановки положен комплексный подход в соответствии с методикой, где в качестве индикаторов состояния системы рассматриваются параметры оросительной и грунтовых вод, а также агрохимические характеристики почв.

Для оценки пространственной трансформации водной среды в исследованиях, проведенных в 2025 г. был реализован мониторинг по трассе Палласовского магистрального канала (рисунок 3).

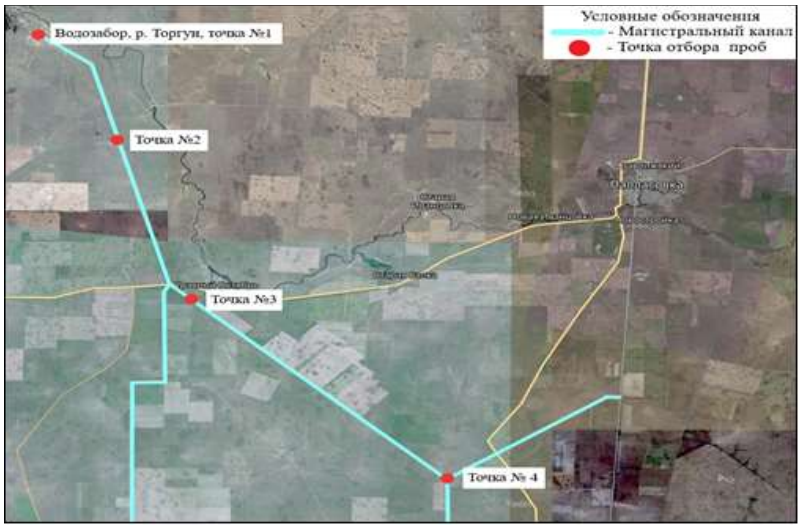


Рисунок 3 – Точки отбора проб воды
Figure 3 – Water sampling points

Пробы отбирались в четырех створах, расположенных по направлению движения потока: от точки водозабора на р. Торгун (створ 1) до конечного участка канала (створ 4), что позволило проследить динамику ионного состава и общей минерализации воды вдоль трассы (рисунок 4).

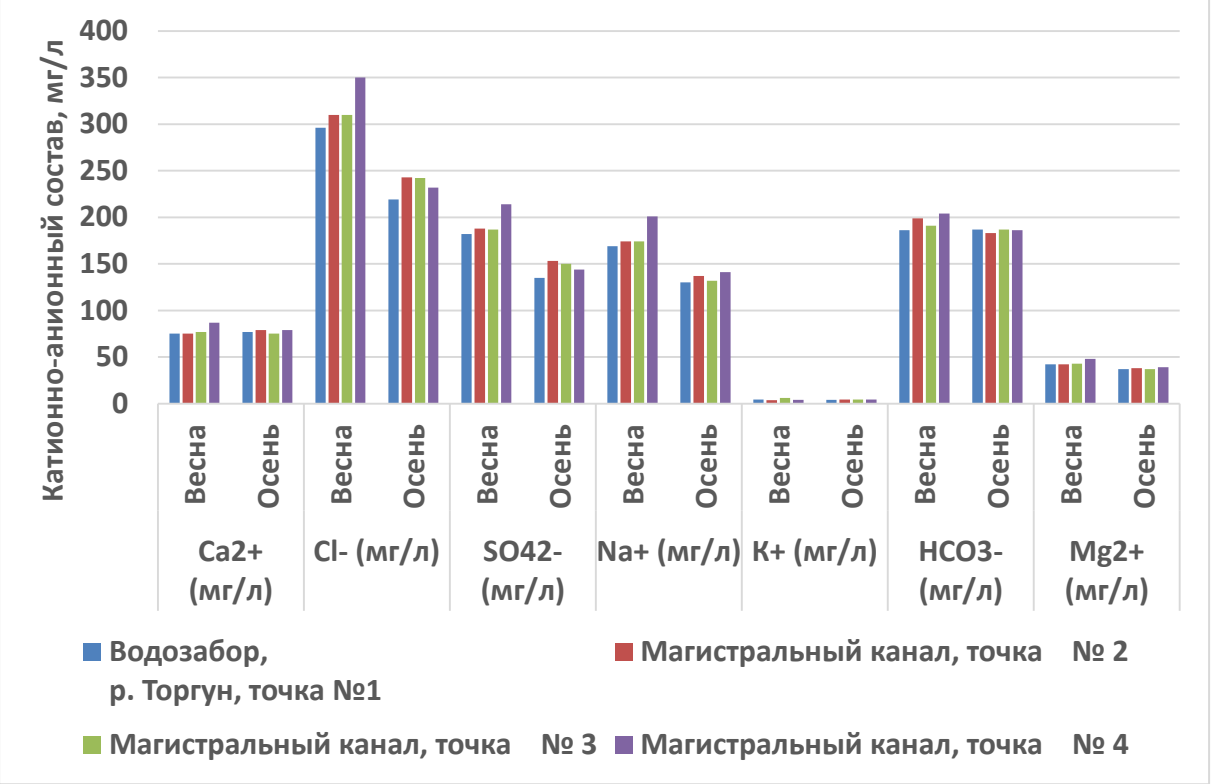


Рисунок 4 – Катионно-анионный состав оросительной воды
Figure 4 – Cation-anion composition of irrigation water

Аналитический контроль, установил, что общее солесодержание воды весной увеличивается с удалением от водозабора (от 0,957 г/л до 1,24 г/л) и осенью также растёт с увеличением расстояния (от 0,592 г/л до 0,613 г/л). Это связано с сезонными изменениями. По концентрации Ca^{2+} (мг/л) показатели весной колеблется от 75 до 87 мг/л, а осенью от 75 до 79 мг/л., что говорит о незначительном возрастании с удалением от водозабора, сезонных различий почти нет. На основе лабораторных данных концентрация Cl^- (мг/л) в зависимости от сезона и расстояния точек изменяется: весной – от 296 до 350 мг/л и, соответственно, в осенний период – от 219 до 232 мг/л, это говорит о том, что хлориды сильнее концентрируются к концу канала, что может указывать на поступление дополнительных источников солей (например, стоки, грунтовые воды).

Преобладающие ионы: Cl^- и SO_4^{2-} указывают на хлоридно-сульфатный тип воды, характерный для аридных зон. Полученные данные были статистически обработаны, так для показателя минерализации воды в весенний период среднее арифметическое ≈ 1,108 г/л, стандартное отклонение ≈ 0,109 г/л, дисперсия ≈ 0,0119. Был проведен расчёт коэффициента Стьюдента (t-критерия), который используется для проверки гипотезы о равенстве средних значений двух выборок или сравнения среднего с эталонным значением. Расчеты показали, что критическое значение равно t ≈ 3,182, следовательно наш расчёт t = 1,99 < 3,182 и нулевая гипотеза (μ = 1 г/л) не отвергается – различия между средним значением минерализации и нормой статистически не значимы при α = 0,05. Полученным результатам можно доверять.

Расчёт коэффициента Стьюдента (t-критерия) для сравнения показателей в весенний и осенний периоды выявили следующие значения, так для Na^+ t = (180 – 135) / √((13,6²/4) + (5,5²/4)) ≈ 6,0, что позволяет сделать вывод t > tкр → различия статистически значимы, для K^+ t = (4,6 – 4,3) / √((0,9²/4) + (0,1²/4)) ≈ 1,0, это говорит t < tкр → различия не значимы, для HCO_3^- t = (195 – 186) / √((6,3²/4) + (2,1²/4)) ≈ 2,5 где расчет говорит t > tкр → различия статистически значимы и для показателя Mg^{2+} t = (43,5 – 37,75) / √((2,5²/4) + (0,9²/4)) ≈ 5,5, на основании расчета также можно сделать вывод t > tкр → различия статистически значимы.

Ключевой причиной является процесс испарительного сгущения растворов в аридной обстановке. На периферийных участках, где наблюдается снижение гидродинамической активности, влияние испарения усиливается, создавая условия для перехода солей в твердую фазу и обратно, что в итоге повышает общую концентрацию. Кроме того, фильтрация через стенки и дно каналов без облицовки приводит к безвозвратным потерям воды и может вызывать подъем уровня подземных вод, косвенно влияя на солевой режим поверхностного потока.

С целью выявления влияния оросительной воды на аккумуляцию солей в почвенном профиле осуществлен сравнительный анализ угодий с разным типом водообеспечения. В качестве объектов сравнения выбраны орошаемый массив и контрольный участок с естественным гидротермическим режимом (богара). С указанных территорий произведен отбор почвенных проб для последующего агрохимического анализа (рисунок 5).



Рисунок 5 – Точки отбора проб почвы
Figure 5 – Soil sampling points

Результаты химического анализа проб с богарного и орошаемого участков отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты химического анализа проб почв (горизонт 0-30 см)
Table 2 – Results of chemical analysis of soil samples (0-30 cm horizon)

Точка / Point	Ca2+ (мг/кг)	Cl- (мг/кг)	SO42- (мг/кг)	Na+ (мг/кг)	K+ (мг/кг)	Mg2+ (мг/кг)	PO_4^{3-} (мг/кг)	pH
Богарное поле (пар) / Rain field	Весна / Spring							
	13	27	37,8	36,6	43,7	10,4	<3	7,6
	Осень / Automn							
	83	9,8	33,8	20,6	18,2	12,6	<3	7,9
Орошаемое поле / Irrigated field	Весна / Spring							
	213	523	353	440	34	27	<3	8,1
	Осень / Automn							
	149	373	303	290	24,4	24	<3	8,4

Результаты, систематизированные в таблице 2, однозначно свидетельствуют о дестабилизирующем воздействии существующей системы орошения на почвенно-поглощающий комплекс. Проведенный сравнительный анализ выявил, что в пахотном слое мелиорируемого участка концентрации токсикогенных ионов хлора и натрия на порядок выше (в 10-15 раз), чем на контрольном богарном участке. Критическим индикатором является доля обменного натрия (Na^+) в составе ППК, достигающая на орошаемых землях 38 %, что соответствует высокой степени солонцеватости и ведет к ухудшению физико-химических свойств. Одновременно наблюдается существенный сдвиг реакции почвенной среды в щелочную область (pH 8,1-8,4), в то время как на неорошаемых землях значения pH близки к нейтральным (7,6-7,9). Совокупность данных позволяет диагностировать сформировавшийся сульфатно-хлоридный генезис засоления.

Сложившаяся на объекте исследования неблагоприятная мелиоративная обстановка, характеризующаяся процессами засоления, диктует необходимость разработки и реализации многоуровневой стратегии управления. Данная стратегия должна сочетать пре-

вентивные (профилактические) и реабилитационные (корректирующие) подходы, нацеленные на блокировку дальнейшего накопления солей и ремедиацию почвенного плодородия. Учитывая высокую уязвимость аридных агроэкосистем и критическую ограниченность водного ресурса, приоритет должен быть отдан внедрению адаптивного, ресурсоэффективного мелиоративного комплекса, строго учитывающего региональную специфику Палласовской оросительной системы.

Разработка стратегии дезактивации процессов засоления требует внедрения многофакторного подхода, нацеленного на ослабление дестабилизирующего влияния внешних условий и регенерацию органического вещества почвы. Ключевым компонентом данной стратегии является химическая мелиорация, предусматривающая целенаправленное применение мелиорантов с разнонаправленным механизмом воздействия на почвенную матрицу [8, 9, 10].

Для стабилизации и улучшения эколого-мелиоративной ситуации на ПООС разработан адаптивный комплекс мероприятий, включающий:

- Химическую мелиорацию: внесение гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и органических мелиорантов для снижения солонцеватости и улучшения структуры.
- Агротехническую мелиорацию: глубокое рыхление (чизелевание) для разрушения солонцового горизонта, лазерную планировку полей.
- Фитомелиорацию: введение в севооборот солеустойчивых культур (сорго, рапс, свекла) и галофитов (солодка, волоснец).
- Агролесомелиорацию: создание ветрозащитных лесополос из засухо- и солеустойчивых видов (тополь белый, вяз приземистый, дуб).
- Техническую модернизацию: противофильтрационная облицовка критических участков каналов, внедрение систем капельного орошения для минимизации непродуктивных потерь воды.

Совместное применение ресурсосберегающих систем орошения и лазерной планировки земель представляет собой технологическую основу для повышения равномерности водоподачи и ликвидации переувлажненных микрозон. Это позволяет не только радикально снизить безвозвратные потери поливной воды, но и предотвратить инициирование процессов вторичного соленакопления на отдельных участках пашни, что влечет за собой как экономический (снижение себестоимости), так и экологический (сохранение почвенного плодородия) эффект.

Выводы. Проведенная эколого-мелиоративная оценка Палласовской оросительно-обводнительной системы выявила кризисное состояние почвенного покрова, характеризующееся средней степенью сульфатно-хлоридного засоления, высокой солонцеватостью и щелочной реакцией на орошаемых массивах.

Установлена негативная динамика качества оросительной воды в магистральном канале, выражающаяся в росте минерализации и концентрации токсичных ионов (Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}) к хвостовой части системы, что является следствием испарения, фильтрации и выщелачивания солей из грунтов.

Ключевыми факторами дестабилизации агроландшафта признаны: природная предрасположенность территории к засолению, отсутствие дренажа, техническая изношенность каналов с высокими потерями на фильтрацию, несбалансированные режимы орошения.

Для обеспечения экологической устойчивости и повышения продуктивности системы необходим переход к адаптивно-ландшафтному подходу, реализация которого должна включать комплекс взаимосвязанных мероприятий по мелиорации почв, биологической рекультивации и технической реабилитации мелиоративной сети.

Conclusions. The conducted ecological and reclamation assessment of the Pallas irrigation and water supply system revealed a crisis state of the soil cover, characterized by an average degree of sulfate-chloride salinity, high salinity, and alkaline reaction in irrigated areas.

The negative dynamics of irrigation water quality in the main canal was established, which is expressed in the growth of mineralization and concentration of toxic ions (Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}) to the tail part of the system, which is a consequence of evaporation, filtration and leaching of salts from the soils.

The key factors of destabilization of the agro-landscape are recognized: natural predisposition of the territory to salinization, lack of drainage, technical wear and tear of canals with high losses on filtration, unbalanced irrigation regimes.

To ensure environmental sustainability and increase the system's productivity, it is necessary to transition to an adaptive landscape approach, which should include a set of interconnected measures for soil reclamation, biological remediation, and technical rehabilitation of the reclamation network.

Библиографический список

1. Тютюма Н. В., Мещеряков М. П. Система контроля подпочвенной влаги на мелиорируемых землях. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 3. С. 24-25.
2. Мещеряков М. П. и др. Влияние технологического процесса передовых способов полива на продуктивность овощных культур в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 411-421.
3. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-23.
4. Семененко С. Я., Новиков А. Е. Показатели мелиоративного состояния орошаемых земель Волгоградской области. Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 114-123.
5. Бабичев А. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Особенности изменения мелиоративного состояния и почвенного плодородия при регулярном орошении и в постмелиоративный период земель юга России. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 2. С. 168-185.
6. Приходько И. А. и др. Критический анализ инженерной защиты Нижней Кубани в условиях возрастающего дефицита оросительной воды из-за климатических изменений. Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 317-332.
7. Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А., Сафин Э. Э. Разработка адаптивных технологий эксплуатации оросительных каналов, покрытых бетонным полотном. Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 4-8.
8. Мещеряков М. П. и др. Оптимизация методов очистки воды для капельного орошения в агроэкосистемах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 434-444.
9. Мещеряков М. П. и др. Устройство для рекультивации техногенно-нарушенных почв. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 448-455.
10. Овчинников А. С. и др. Технологические приемы управления водным режимом почвы на лиманах Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 15-22.
11. Ustinova V. V., Timoshkin A. D. Environmental surveillance of the rice massif in the Kuban-Protoka river region. Research on Crops. 2024. Vol. 25. No. 2. Pp. 241-246.
12. Bocharnikov V. S., Denisova M. A., Ovchinnikov A. S., Bocharnikova O. V., Kozinskaya O. V., Meshcheryakov M. P. Promising technology of wastewater treatment with natural ameliorants. Innovative Solutions in the Agro-Industrial Complex, AgroINNOVATION 2021: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Art. 012012.
13. Ricci J. M. P., Conrad E. Exploring the feasibility of setting up community allotments on abandoned agricultural land: a place, people, policy approach. Land Use Policy. 2018. V. 79. Pp. 102-115.
14. Lesiv V., Schepaschenko D. et al. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries. Scientific Data. 2018. No 5. Art. 180056.

References

1. Tyutyuma N. V., Meshcheryakov M. P. The system of control of subsoil moisture on reclaimed lands. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. No. 3. Pp. 24-25.
2. Meshcheryakov M. P. et al. Influence of the technological process of advanced irrigation methods on the productivity of vegetable crops in the Lower Volga region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No. 4 (64). Pp. 411-421.
3. Tkachev A. A., Ol'garenko I. V. Modern problems in the management of water distribution in the main channels of irrigation systems. Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2021. V. 11. No. 2. Pp. 1–23.
4. Semenenko S. Ya., Novikov A. E. Indicators of the reclamation state of the irrigated lands of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No. 1 (69). Pp. 114-123.
5. Babichev A. N., Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E. Features of changes in the reclamation state and soil fertility under regular irrigation and in the post-reclamation period of the lands of southern Russia. Melioration and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13. No. 2. Pp. 168-185.
6. Prikhodko I. A. et al. Critical analysis of the engineering protection of the Lower Kuban in the conditions of the increasing irrigation water deficit due to climate change. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2022. V. 12, No. 4. Pp. 317-332.
7. Abdrazakov F. K., Rukavishnikov A. A., Safin E. E. Development of adaptive technologies for the operation of irrigation canals covered with concrete. Agrarian Scientific Journal. 2022. No. 11. Pp. 4-8.
8. Meshcheryakov M. P. et al. Optimization of water purification methods for drip irrigation in agroecosystems. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 5 (83). Pp. 434-444.
9. Meshcheryakov M. P. et al. Device for the Reclamation of Technogenically Disturbed Soils. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 3 (81). Pp. 448-455.
10. Ovchinnikov A. S. et al. Technological Methods for Managing the Soil Water Regime in the Estuaries of the Lower Volga Region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No. 4 (52). Pp. 15-22.
11. Ustinova V. V., Timoshkin A. D. Environmental surveillance of the rice massif in the Kuban-Protoka river region. Research on Crops. 2024. Vol. 25. No. 2. Pp. 241-246.

12. Bocharnikov V. S., Denisova M. A., Ovchinnikov A. S., Bocharnikova O. V., Kozinskaya O. V., Meshcheryakov M. P. Promising technology of wastewater treatment with natural ameliorants. Innovative Solutions in the Agro-Industrial Complex, AgroINNOVATION 2021: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Art. 012012.

13. Ricci J. M. P., Conrad E. Exploring the feasibility of setting up community allotments on abandoned agricultural land: a place, people, policy approach. Land Usage Policy. 2018. V. 79. Pp. 102-115.

14. Lesiv V., Schepaschenko D. et al. Spatial distribution of arable and abandoned land across former Soviet Union countries. Scientific Data. 2018. No 5. Art. 180056.

Информация об авторе

Фоменко Юлия Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: fomenko-y@vfanc.ru

Author's Information

Fomenko Julia Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), t-mail: fomenko-y@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-30

THE STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE WINTER SOFT WHEAT SEEDLINGS MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND THEIR YIELD AND PRODUCTIVITY ELEMENTS

Sharapova Yu. A., Sharapov I. I.

Samara Federal Research Scientific Center RAS, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P. N. Konstantinov
Kinel, Samara region, Russian Federation

Corresponding author e-mail: belyaeva.u.a@yandex.ru

Received 27.03.2026 Submitted 26.06.2026

The work was carried out by employees of the Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing, a branch of the Samara Federal Research Scientific Center RAS, in the Department of Wheat Breeding and Seed Production, and the Laboratory of Winter Wheat Breeding and Seed Production, as part of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, No. 075-00683-26-00, on the topic No. FMRW-2025-0022.

Summary

The article studies the morphological and physiological indicators of seedlings of three varieties of winter wheat and their relationship with yield and productivity elements (grain weight per ear, number of grains per ear). The results of the study showed that there is both a direct and an inverse correlation between morphological and physiological indicators indicators and productivity elements. The article also calculates the adaptability coefficient based on three-year yield data, which reflects the ability of the variety to adapt to environmental conditions.

Abstract

Introduction. Winter wheat is one of the main food crops, and increasing its productivity remains a priority for agricultural science. One of the ways to increase its potential is to study the relationship between the morphological and physiological characteristics of seedlings and the main indicators of productivity (yield, number of grains per ear, and grain weight per ear). **Object.** The object of research is a variety of winter wheat bred by the Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing: Povolzhskoe zoloto, Kolobok and Bulgariya. **Materials and methods.** The research was carried out in the laboratory of breeding and seed production of winter wheat of the Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P. N. Konstantinov. The germination rate was determined in accordance with GOST 12044-93. The seeds were germinated using the roll method at a temperature of +20 °C for 7 days. The length of the sprout, root, and coleoptile was measured, and the number and volume of roots were counted. The coefficient of adaptability was calculated based on the yield, and a correlation analysis was performed. **Results and conclusions.** According to the conducted studies, the highest yield over three years was noted in the Kolobok variety (4.24 t/ha), and the longest coleoptile was in the Povolzhskoe Zoloto variety (4.9 cm). The Kolobok variety also stood out in terms of root volume and number, with an increase of 19.8-53 % and 21.6-27.3 %, respectively. The conducted studies revealed both positive and negative correlations of varying degrees. The strongest positive correlations were noted in the Bulgaria variety – with an increase in the length of the shoot, the weight of grain from the ear increased (r=0.635), with an increase in the number of roots, the yield increased (r=0.639), with an increase in the length of the coleoptile, the number of grains in the ear (r=0.722).

Keywords: *winter wheat yield, winter wheat varieties, and increasing winter wheat yield.*

Citation. Sharapova Yu. A., Sharapov I. I. The study of the relationship between the winter soft wheat seedlings morphological and physiological characteristics and their yield and productivity elements. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 273-279 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-30.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.111.1"324":58.084.5

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОРОСТКОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С УРОЖАЙНОСТЬЮ И ЭЛЕМЕНТАМИ ПРОДУКТИВНОСТИ

Шарапова Ю. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник*
Шарапов И. И., *кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник*

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова
п.г.т. Усть-Кинельский, г.о. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

Работа выполнена сотрудниками Поволжского НИИСС – филиала САМ НЦ РАН в отделе селекции и семеноводства пшениц, лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы в рамках государственного задания Минобрнауки России для Сам НЦ РАН № 075-00683-26-00 по теме № FMRW-2025-0022.

Актуальность. Озимая пшеница является одной из основных продовольственных культур и увеличение ее продуктивности остается приоритетной задачей сельскохозяйственной науки. Одним из направлений увеличения потенциала является изучение взаимосвязи морфофизиологических особенностей проростков семян и основных показателей продуктивности (урожайность, количество зерна в колосе, масса зерна с колоса). **Объект.** Объектами исследования выступили сорта озимой мягкой пшеницы селекции Поволжского НИИСС: Поволжское золото, Колобок и Булгария. **Материалы и методы.** Исследования проводились в лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы Поволжского НИИСС им. П. Н. Константинова. Всхожесть определяли в соответствии с ГОСТ 12044-93. Проращивание проводилось рулонным методом при температуре +20 °С в течение 7 дней. Затем определялись длина ростка, корешка и колеоптиле, подсчитывалось количество корней и их объем. На основании урожайности был рассчитан коэффициент адаптивности, а также был проведен корреляционный анализ. **Результаты и выводы.** Согласно проведенным исследованиям, наибольшая урожайность за три года была отмечена у сорта Колобок (4,24 т/га), наибольшая длина колеоптиле – у сорта Поволжское золото (4,9 см). По объему и количеству корней также выделился сорт Колобок – превышение составило 19,8-53 % и 21,6-27,3 % соответственно. По результатам проведенных исследований были выявлены как положительные, так и отрицательные корреляционные зависимости разной степени выраженности. Наиболее сильные положительные корреляционные зависимости были отмечены у сорта Булгари: при увеличении длины ростка увеличивалась масса зерна с колоса (r = 0,635), при увеличении количества корней увеличивалась урожайность (r = 0,639), при увеличении длины колеоптиле – количество зерен в колосе (r = 0,722).

Ключевые слова: *урожайность озимой пшеницы, сорта озимой пшеницы, повышение урожайности озимой пшеницы.*

Цитирование. Шарапова Ю. А., Шарапов И. И. Изучение взаимосвязи морфофизиологических особенностей проростков озимой мягкой пшеницы с урожайностью и элементами продуктивности. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 273-279. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-30.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Озимая пшеница является одной из ключевых продовольственных культур. Для 35 % населения она является основным источником пищи [1, 2, 3]. Увеличение ее продуктивности – одна из приоритетных задач сельскохозяйственной науки, которая требует комплексного анализа всех факторов, влияющих на рост и развитие [4].

Для создания высокопродуктивных сортов с заданными показателями начального роста необходимо оценивать не только основные хозяйственно ценные признаки, но и косвенные показатели [5, 6]. Изучение морфофизиологических показателей проростков семян поможет контролировать реализацию генотипа сорта в конкретных метеорологических условиях [7, 8].

Влияние морфофизиологических характеристик на урожайность сельскохозяйственных культур напрямую зависит от условий возделывания [5]. Проявление конкретных признаков зависит от метеорологических факторов, в частности от дефицита влаги в период налива зерна, что оказывает значительное влияние на конечные показатели продуктивности [9].

Взаимосвязь элементов продуктивности и морфофизиологических показателей отмечена в работах многих ученых [10, 11]. Отмечается корреляционная зависимость между урожайностью и длиной, числом, массой и плотностью корешков [12]. Также отмечено, что питательные вещества и вода эффективнее поглощаются при увеличении длины и площади поверхности корней [13].

Цель исследования – изучение основных морфофизиологических особенностей проростков перспективных сортов озимой мягкой пшеницы селекции Поволжского НИИСС, а также выявление их влияния на урожайность и основные элементы продуктивности.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись сорта озимой мягкой пшеницы селекции Поволжского НИИСС – Поволжское золото, Колобок, Булгария. Для анализа в четырехкратной повторности были отобраны образцы зерна урожая 2022-2024 гг. Всхожесть определялась по стандарту ГОСТ 12044-93. Каждый образец семян раскладывали на влажную фильтровальную бумагу. Расстояние от верхнего края листа составляло 1 см, а количество семян в каждом образце – 100 штук. Полосы сворачивали в рулоны и помещали их в термостат на 7 дней при температуре +20 °С. Затем удаляли непроросшие семена и проростки с видимыми дефектами. Далее проводилась морфологическая оценка проростков: измерялась длина ростка, корешка и колеоптиле, также подсчитывали количество корешков. Дополнительно определяли объем корней.

Размер делянок – 25 м^2, повторность четырехкратная, предшественник – черный пар. Проводилась ранневесенняя подкормка аммиачной селитрой с нормой внесения 200 кг/га в физическом весе. Почва опытного участка – чернозем типичный среднемощный легкоглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое (по Тюрину) составляло 5-6 %, подвижного калия и фосфора (по методу Мачигина в модификации ЦИНАО) – 306-338 и 277-306 мг/кг почвы соответственно, pH почвенного раствора – 6,9, pH солевой вытяжки – 6,2. В фазу начала выхода в трубку посевы обрабатывались гербицидами и инсектицидами для уничтожения сорной растительности и основных вредителей. За период проведения исследования отмечалась слабая степень повреждения бурой ржавчиной, мучнистой росой и гельминтоспориозной пятнистостью всех исследуемых сортов в равной степени.

В целом, погодные условия весенне-летнего периода 2023 и 2024 гг. можно охарактеризовать как засушливые, со значительным снижением количества осадков и повышением температуры по сравнению со среднемноголетними значениями во время всего периода вегетации озимой пшеницы. В 2025 г. температура воздуха была близка к среднемноголетним значениям, однако количество осадков значительно превышало их (в апреле на 38,5 %, в мае на 42,4 %, в июне на 120 %).

Коэффициент адаптивности рассчитывался в процентах как отношение средней урожайности сорта за годы проведения исследования к среднесортовой урожайности изучаемых сортов за те же годы.

Результаты исследования. Среди анализируемых сортов всхожесть за все годы исследования колебалась в среднем в пределах 91,4-96,4 %. Длина колеоптиле в среднем составила 3,5-4,9 см, длина ростка – 10,2-11,9 см, длина корней – 11,5-12,7 см, количество корней – 3,6-4,5 шт., объем корней – от 3,5 до 5,4 мл (таблица 1).

Наибольшая длина колеоптиле отмечена у сорта Поволжское золото – 4,9 см, что важно учитывать при выборе оптимальной глубины заделки семян.

Таблица 1 – Морфофизиологические показатели проростков озимой мягкой пшеницы, 2022-2024 гг.
Table 1 – Morphological and physiological indicators of winter wheat seedlings, 2022-2024

Сорт / Variety	Поволжское золото / Povolzhskoe zoloto				Колобок / Kolobok				Булгария / Bulgariya			
	2022	2023	2024	Среднее / Average	2022	2023	2024	Среднее / Average	2022	2023	2024	Среднее / Average
Всхожесть, % / Germination rate, %	96,0	97,3	96,0	96,4	97,0	88,0	89,3	91,4	97,3	97,3	92,0	95,5
Длина колеоптиле, см / Length of the coleoptile, cm	5,1	4,9	4,7	4,9	3,7	3,4	3,3	3,5	4,6	4,6	4,3	4,5
Длина ростка, см / Length of the sprout, cm	10,1	11,3	13,1	11,5	9,5	10,8	10,3	10,2	12,1	12,1	11,6	11,9
Количествокорней, шт. / Number of roots, pcs.	3,9	3,7	3,4	3,7	4,6	4,5	4,5	4,5	3,9	3,3	3,6	3,6
Длина корней, см / Length of the roots, cm	9,4	12,1	13,1	11,5	11,5	12,8	12,8	12,4	12	13,3	12,7	12,7
Объем корней, мл / Volume of the roots, ml	3,06	3,97	3,47	3,5	5,5	5,45	5,23	5,39	4,38	4,37	4,8	4,5

Сорта Булгария и Поволжское золото в среднем имеют незначительную разницу по длине ростка (11,9 и 11,5 см соответственно). Сорт Колобок значительно ниже – 10,2 см, однако по количеству и объему корней данный сорт значительно превосходит остальные исследуемые сорта. По количеству корней превышение составило 21,6-27,3 %. Объем корней по сравнению с сортом Поволжское золото выше на 53 %, по сравнению с сортом Булгария – на 19,8 %, что указывает на высокую способность сорта Колобок усваивать питательные вещества, а также является одним из основных показателей засухоустойчивости сорта.

Для выявления взаимосвязи морфофизиологических особенностей проростков изучаемых сортов озимой мягкой пшеницы с урожайностью и элементами продуктивности были проанализированы данные, полученные при посеве семян выбранных партий в полевых условиях (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели продуктивности сортов озимой мягкой пшеницы, 2023-2025 гг.
Table 2 – Productivity indicators for winter wheat varieties, 2023-2025

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha				Коэффициент адаптивности / Adaptability coefficient	Количество зерен с колоса, шт. / Number of grains per spike, pcs. /				Масса зерна с колоса, г / Grain weight per spike, g			
	2023	2024	2025	Среднее / Average		2023	2024	2025	Среднее / Average	2023	2024	2025	Среднее / Average
Поволжское золото / Povolzhskoe zoloto	4,19	3,42	4,44	4,02	97	39,6	28,5	38,3	35,5	1,7	0,9	1,7	1,4
Колобок / Kolobok	4,44	3,60	4,69	4,24	102	34,6	33,4	37,7	35,2	1,5	1,2	1,6	1,4
Булгария / Bulgariya	4,42	3,72	4,44	4,19	101	35,1	37,4	29,9	34,1	1,4	1,3	1,2	1,3
Среднее / Average	4,35	3,58	4,52	4,15	–	36,4	33,1	35,3	34,9	1,5	1,1	1,5	1,4

Наибольшая средняя урожайность за все годы исследования была получена у сорта Колобок – 4,24 т/га. В среднем по выборке урожайность составила 4,15 т/га, максимальная средняя урожайность выборки была получена в 2025 г. при посеве семенами 2024 г. – 4,52 т/га, минимальная – в 2024 г., при посеве семенами 2023 г. – 3,58 т/га.

Для определения способности сорта приспосабливаться к условиям среды был рассчитан коэффициент адаптивности. Наибольший коэффициент адаптивности на основании анализа урожайности за годы исследований был у сорта Колобок – 102 %, что говорит о его высокой приспосабливаемости к условиям среды. Высоким коэффициентом адаптивности также обладал и новый сорт озимой пшеницы Булгария – 101 %.

В среднем за годы исследования наибольшее количество зерен с колоса было получено у сорта Поволжское золото – 38,3 шт. По выборке данный показатель в среднем составил 34,9 шт. с минимальным значением в 2024 г. – 33,1 шт.

Масса зерна с колоса является важным показателем для определения величины урожая. В среднем за все годы исследования по всем сортам данный показатель составил 1,4 г, минимальное среднее значение по выборке было получено в 2024 г. – 1,1 г, что отразилось на средней урожайности сортов.

По данным корреляционного анализа была выявлена как положительная, так и отрицательная корреляционная зависимость между морфофизиологическими показателями проростков и элементами продуктивности (таблица 3). Так, у сорта Поволжское золото была отмечена слабоположительная связь между длиной колеоптиле и массой зерна с колоса (r=0,136). Однако, у сорта Колобок корреляционная зависимость между данными показателями оказалась слабоотрицательной (r = –0,294). Средняя положительная корреляционная зависимость между данными показателями наблюдалась у сорта Булгария (r = 0,466). У данного сорта длина колеоптиле также имела сильное положительное влияние на количество зерен в колосе (r = 0,722).

Таблица 3 – Корреляционная зависимость показателей продуктивности сортов озимой мягкой пшеницы от морфофизиологических показателей их проростков
Table 3 – Correlation between the productivity of winter wheat varieties and the morphophysiological c haracteristics of their seedlings

Показатели / Indicators		Длина колеоптиле, см / Coleoptile length, cm	Длина ростка, см / Sprout length, cm	Количество корней, шт. / Number of roots, pcs.	Длина корней, см / Root length, cm	Объем корней, мл / Root volume, ml
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	Поволжское золото / Povolzhskoe zoloto	0,136	0,133	-0,274	-0,234	-0,490
	Колобок / Kolobok	-0,294	-0,430	0,024	0,201	-0,272
	Булгария / Bulgariya	0,466	0,635	0,101	-0,494	-0,291
Количество зерен с колоса, шт. / Number of grains per ear, pcs.	Поволжское золото / Povolzhskoe zoloto	0,237	0,120	-0,200	-0,217	-0,628
	Колобок / Kolobok	-0,197	0,064	0,431	0,068	-0,194
	Булгария / Bulgariya	0,722	0,353	-0,260	0,136	-0,230
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Поволжское золото / Povolzhskoe zoloto	-0,157	0,237	-0,290	0,017	-0,393
	Колобок / Kolobok	0,119	-0,296	0,312	-0,351	0,215
	Булгария / Bulgariya	-0,178	-0,287	0,639	-0,408	0,154

Сильная положительная корреляция между длиной ростка и массой зерна с колоса была отмечена у сорта Булгария (r = 0,635). Данный показатель также оказывал слабое положительное влияние на количество зерен в колосе у всех изучаемых сортов (r от 0,064 до 0,353) и на урожайность сорта Поволжское золото (r = 0,237).

Количество корней оказывало сильное положительное влияние на урожайность сорта Булгария (r = 0,639) и среднее положительное – на количество зерен в колосе у сорта Колобок (r = 0,431). Слабое положительное влияние длины корней на массу зерна с колоса было отмечено у сорта Колобок (r = 0,201) и на количество зерен с колоса у сорта Булгария (r = 0,136). Увеличение объема корней имело слабое положительное влияние на урожайность сортов Колобок (r = 0,215) и Булгария (r =0,154).

Заключение. За годы проведения исследования все сорта имели достаточно высокую всхожесть – 91,4-96,4 %. Наибольшая длина колеоптиле была отмечена у сорта Поволжское золото (4,9 см). По количеству и объему корней выделился сорт Колобок – 4,5 шт. и 5,39 мл соответственно. Также данный сорт имел наибольшую урожайность – в среднем за три года она составила 4,24 т/га (средняя урожайность выборки – 4,15 т/га). По результатам корреляционного анализа между морфофизиологическими показателями проростков и элементами продуктивности у разных сортов были выявлены как положительные, так и отрицательные корреляционные зависимости разной степени выраженности. Наиболее сильная положительная корреляционная зависимость отмечена у сорта Булгария: между длиной ростка и массой зерна с колоса (r = 0,635), количеством корней и урожайностью (r = 0,639), а также длиной колеоптиле и количеством зерен в колосе (r = 0,722). Увеличение длины ростка слабоположительно влияло на количество зерен в колосе у всех исследуемых сортов, а увеличение объема корней оказывало слабоположительное влияние на урожайность сортов Колобок и Булгария.

Conclusions. Over the years of the study, all varieties had a fairly high germination rate of 91.4-96.4 %. The longest coleoptile was observed in the Povolzhskoe Zoloto variety (4.9 cm). Kolobok stood out for its high number and volume of roots, with 4.5 roots and 5.39 ml, respectively. This variety also had the highest yield, averaging 4.24 t/ha over the three years (compared to the average yield of 4.15 t/ha for the sample). According to the results of the correlation analysis between the morphological and physiological indicators of the seedlings and the elements of productivity in different varieties, both positive and negative correlations of varying degrees of severity were identified. The strongest positive correlation was observed in the Bulgariya variety: between the length of the sprout and the weight of the grain per ear (0.635), the number of roots and the yield (0.639), and the length of the coleoptile and the number of grains per ear (0.722). An increase in the length of the sprout had a slight positive effect on the number of grains in the spike of all the studied varieties, and an increase in the volume of the roots had a slight positive effect on the yield of the Kolobok and Bulgariya varieties.

Библиографический список

1. Mukhtar U., Ilyas M., Awan S.I., Khan M.T., Arif S., Jamil M., Mahmood B., Hayat I., Saeed M., Shamim A. Advanced winter wheat (Triticum aestivum L.) lines revealed morphological trait diversity and resistance against yellow rust. Pak. J. Phytopathol. 2021. V. 33. № 2. Pp. 233-243.
2. Spanic V., Lalic Z., Berakovic I., Jukic G., Varnica I. Morphological Characterization of 1322 Winter Wheat (Triticum aestivum L.) Varieties from EU Referent Collection. Agriculture. 2024. Vol. 14. Art. 55.
3. Dekin G. O., Burlutsky V. A., Negassi B. T. Morphological assessment of spikes in novel F4:5 breeding population hybrids of winter soft wheat (Triticum aestivum L.). Res. Crop. 2025. V. 26. Pp. 24-31.
4. Ковтун В. И., Ковтун Л. Н., Майорова К. А. Новые генетические источники высокой урожайности зерна пшеницы мягкой озимой. Вестник КрасГАУ. 2021. № 8. С. 40-46.
5. Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С. Роль генотипа и погодных условий в формировании морфобиологических и хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы. Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 43-58.
6. Марченкова Л. А., Давыдова Н. В., Павлова О. В., Чавдарь Р. Ф., Орлова Т. Г., Широколава А. В. Изучение особенностей морфофизиологических параметров растений сортов яровой пшеницы на ранних этапах онтогенеза во взаимосвязи с урожайностью и продуктивностью. Агрофизика. 2023. № 3. С. 1-8.
7. Тарасов С. С., Веселов А. П., Крутова Е. К. Изменения морфофизиологических показателей прорастающих семян пшеницы под влиянием ультразвукового воздействия. Аграрный научный журнал. 2019. № 6. С. 38-42.
8. Ларионов Ю. С., Горбатая А. П. Степень развития органов проростков семян бобовых культур как показатель их потенциальной продуктивности. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 2 (88). С. 17-18.
9. Балабанов С. С., Беседин Н. В., Картамышев Н. И., Тимофеева Н. М. Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур зернопропашного севооборота. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 42-44.
10. Юсова О. А., Горбунова М. П., Ларионов Ю. С. Анализ корреляционных связей длины колеоптиле с основными элементами продуктивности и урожайностью сортов яровой твёрдой пшеницы. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2011. № 1 (1). С. 15-19.
11. Мефодьев Г. А., Шашкаров Л. Ш., Александрова А. Н., Толстова С. Л. Влияние длины колеоптиля и глубины посева на урожайность яровой тритикале. Вестник Казанского ГАУ. 2019. № 1 (52).
12. Cope J. E., Berckx F., Lundmark J., Henriksson T., Karlsson I., Weih M. Clear effects on root system architecture of winter wheat cultivars (Triticum aestivum L.) from cultivation environment and practices. Science Rep. 2024. V. 14. № 1. Art. 11099.
13. Fipke G. M., Deak E. A., Stecca J. D. L., Bernardy D., Berger M., Tabaldi L. A., Martin T. N. Morphology and enzymatic activity of seedlings from wheat desiccated in pre-harvest. Acta Scientiarum. Agronomy. 2021. V. 43. № 1. Art. e44974.

References

1. Mukhtar U., Ilyas M., Awan S. I., Khan M. T., Arif S., Jamil M., Mahmood B., Hayat I., Saeed M., Shamim A. Advanced winter wheat (Triticum aestivum L.) lines revealed morphological trait diversity and resistance against yellow rust. Pak. J. Phytopathol. 2021. V. 33. No 2. Pp. 233-243.

2. Spanic V., Lalic Z., Berakovic I., Jukic G., Varnica I. Morphological Characterization of 1322 Winter Wheat (Triticum aestivum L.) Varieties from EU Referent Collection. Agriculture. 2024. Vol. 14. Art. 55.
3. Dekin G. O., Burlutsky V. A., Negassi B. T. Morphological assessment of spikes in novel F4:5 breeding population hybrids of winter soft wheat (Triticum aestivum L.). Res. Crop. 2025. V. 26. Pp. 24-31.
4. Kovtun V. I., Kovtun L. N., Maiorova K. A. New genetic sources for soft winter wheat grain high yield. Bulletin of KrasGAU. 2021. № 8. Pp. 40-46.
5. Volkova L. V., Lisitsyn E. M., Amunova O. S. Role of genotype and weather conditions in the formation morphobiological and economically valuable traits of spring soft wheat. Taurida herald of the agrarian sciences. 2020. № 3 (23). Pp. 43-58.
6. Marchenkova L. A., Davydova N. V., Pavlova O. V., Chavdar' R. F., Orlova T. G., Shirokolava A. V. Studying the features of morphological and physiological parameters of plants of spring wheat varieties in the early stages of ontogenesis in relationship with yield and productivity. Agricultural physic. 2023. № 3. Pp. 1-8.
7. Tarasov S. S., Veselov A. P., Krutova E. K. Changes in the morphological and physiological indicators of seed germination of wheat under the influence of ultrasonic exposure. Agrarian Scientific Journal. 2019. No 6. Pp. 38-42.
8. Larionov Iu. S., Gorbataia A. P. The degree of development of seedling organs in legume crops as an indicator of their potential productivity. Bulletin of Altai state agricultural university. 2012. No 2 (88). Pp. 17-18.
9. Balabanov S. S., Besedin N. V., Kartamyshev N. I., Timofeeva N. M. Moisture supply of agricultural crops in grain-row crop rotation. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2013. No 4. Pp. 42-44.
10. Iusova O. A., Gorbunova M. P., Larionov Iu. S. The analysis correlation communications of length coleoptile with efficiency of an ear at grades durum wheat. Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2011. No 1 (1). Pp. 15-19.
11. Mefod'ev G. A., Shashkarov L. Sh., Aleksandrova A. N., Tolstova S. L. Influence of the coleoptile's length and sowing depth on spring tritical productivity. News of the Kazan State Agrarian University. 2019. No 1 (52).
12. Cope J. E., Berckx F., Lundmark J., Henriksson T., Karlsson I., Weih M. Clear effects on root system architecture of winter wheat cultivars (Triticum aestivum L.) from cultivation environment and practices. Science Rep. 2024. V. 14. No 1. Art. 11099.
13. Fipke G. M., Deak E. A., Stecca J. D. L., Bernardy D., Berger M., Tabaldi L. A., Martin T. N. Morphology and enzymatic activity of seedlings from wheat desiccated in pre-harvest. Acta Scientiarum. Agronomy. 2021. V. 43. No 1. Art. e44974.

Информация об авторах

Шарапова Юлия Андреевна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН – Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), e-mail: belyaeva.u.a@yandex.ru

Шарапов Иван Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, Самарский федеральный исследовательский центр РАН – Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), e-mail: scharapov86@mail.ru

Authors' Information

Sharapova Yuliya Andreevna, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher, Samara Federal Research Scientific Center RAS, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Shosseynaya Str., 76), e-mail: belyaeva.u.a@yandex.ru

Sharapov Ivan Ivanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Samara Federal Research Scientific Center RAS, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Shosseynaya Str., 76), e-mail: scharapov86@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-31

THE WATERMELON VARIETIES ECOLOGICAL PLASTICITY AND STABILITY IN THE VARIOUS SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS

[1]Varivoda E. A., [2]Lazko V. E., [3]Fomin S. D.

[1]Bykovskaya Melon Breeding Experimental Station – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Vegetable Growing" Bykovsky district, Volgograd region, Russian Federation
[2]Federal Rice Research Center Belozerny Settlement, Krasnodar Region Russian Federation
[3]Volgograd State Agrarian University Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: e-mail: elena-varivoda@mail.ru, e-mail: lazko62@mail.ru

Received 05.03.2026 Submitted 15.05.2026

Abstract

Introduction. Watermelon is grown in various zones of the Russian Federation, requiring varieties capable of producing consistently high yields in a variety of soil and climatic conditions. To select varieties capable of producing high yields in specific growing zones, environmental stability and adaptability are assessed. **Materials and methods.** The objects of these studies were watermelon varieties of different ripening periods: Tersky Early, Nitsa, Neobychainy, Yubilyar, Rubin, Volzhanin, Favorit, Ikar, bred by the Bykovskaya Melon Breeding Experimental Station and the Federal Scientific Center for Rice. The experiments were

conducted according to existing methods for melon and vegetable crops. The experiments were carried out according to the existing methods for melon and vegetable crops. The indicators of ecological plasticity and stability were calculated according to the method of S. A. Eberhart, W. A. Rassell, edited by V. A. Zykin, and the stress resistance and average yield in contrasting conditions were determined according to the equation of A. A. Rossille, J. Hamblin, edited by A.A. Goncharenko, and the analysis of variance was performed according to B. A. Dospekhov. **Results.** The studies were conducted in the Krasnodar Territory and the Volgograd Region, and the meteorological conditions of the study areas differ significantly, especially in terms of precipitation. In 2021, the amount of precipitation in the Volgograd Region was 70.1 % lower than in the Krasnodar Territory, and in 2022, this figure was 61.6%, and in 2023, it was 62.3 %. The weather conditions are characterized by the environment index. The most favorable high index value was in Krasnodar in 2021 and 2023 (+8.13 and +10.44, respectively). The Krasnodar Territory was also characterized by the lowest level of the environment index in 2022 – 12.90. In the Volgograd region, two years (2021 and 2022) were characterized by unfavorable conditions, the environmental index was -3.3 and -3.7. To determine the plasticity of the varieties, the regression coefficient was determined, which ranged from 0.6 to 1.2. The varieties Nitsa and Neobychainy have the highest plasticity, with a regression coefficient of more than 1.0. The varieties Favorit, Rubin, Ikar, and Tersky Early have low plasticity. The varieties Favorit, Volzhanin, Ikar, and Rubin are stable in terms of yield, with a low stability coefficient ranging from 0.7 to 2.2. The variety Nitsa has a high stability coefficient of 180.4, which makes it highly dependent on environmental conditions. **Conclusion.** As a result of the research, the following watermelon varieties were identified as those that react poorly to changes in environmental conditions and are capable of producing stable yields in various cultivation zones: Favorit, Rubin, Ikar, and Volzhanin. The high plasticity of the Jubilar, Nitsa, Neobychainy, and Volzhanin varieties indicates that they belong to the intensive cultivation type and are more demanding in terms of agricultural practices.

Keywords: *watermelon varieties, watermelon cultivation conditions, climatic conditions for watermelon cultivation, soil conditions for watermelon cultivation.*

Citation. Varivoda E. A., Lazko V. E., Fomin S. D. The watermelon varieties ecological plasticity and stability in the various soil and climatic conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 279-286 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-31.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this article have reviewed and approved the final version.
Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 635.615:631.529

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ СОРТОВ АРБУЗА СТОЛОВОГО В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

[1] Варивода Е. А., *старший научный сотрудник*
[2] Лазько В. Э., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[3] Фомин С. Д., *доктор технических наук, профессор*

[1] Быковская бахчевая селекционная опытная станция –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»
п. Зеленый, Быковский район, Волгоградская область, Российская Федерация
[2] ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»
г. Краснодар, Российская Федерация
[3] ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Арбуз выращивают в различных зонах РФ, поэтому требуются сорта, способные формировать стабильно высокий урожай в различных почвенно-климатических условиях. Для подбора сортов, способных давать высокие урожаи в конкретных зонах возделывания, проводится оценка на экологическую стабильность и пластичность. **Материалы и методы.** Объектами данных исследований являлись сорта арбуза различных сроков созревания: Терский ранний, Ница, Необычайный, Юбиляр, Рубин, Волжанин, Фаворит, Икар селекции Быковской бахчевой селекционной опытной станции и Федерального научного центра риса. Опыты закладывались согласно существующим методикам по бахчевым и овощным культурам. Показатели экологической пластичности и стабильности рассчитывали по методике S. A. Eberhart, W. A. Rassell в редакции В. А. Зыкина; стрессоустойчивость и среднюю урожайность в контрастных условиях определяли по уравнению А. А. Rossielle, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко; дисперсионный анализ выполняли по Б. А. Доспехову. **Результаты.** Исследования проводились в условиях Краснодарского края и Волгоградской области, метеорологические условия зон исследования существенно отличаются, особенно по количеству осадков. Так, сумма выпавших осадков в Волгоградской области в 2021 году была ниже на 70,1 %,

чем в Краснодарском крае, в 2022 году этот показатель составил 61,6 %, в 2023 году – 62,3 %. Характеристика погодных условий определяется индексом среды. Наиболее благоприятный высокий показатель индекса среды был в 2021 и 2023 годах в Краснодаре (+8,13 и +10,44 соответственно). Краснодарский край характеризовался и самым низким уровнем индекса среды в 2022 году – 12,90. В Волгоградской области два года (2021 и 2022) отличались неблагоприятными условиями, индекс среды: -3,3 и -3,7. Для определения пластичности сортов вычисляли коэффициент регрессии, который колебался от 0,6 до 1,2. Самой высокой пластичностью отличается сорта Ница и Необычайный, коэффициент регрессии у них более 1,0. Сорта арбуза Фаворит, Рубин, Икар и Терский ранний обладают низкой пластичностью. Стабильными по урожайности являются сорта Фаворит, Волжанин, Икар, Рубин, они обладают низким коэффициентом стабильности – от 0,7 до 2,2. Высокий показатель стабильности выявлен у сорта Ница (180,4), он очень зависим от условий среды. **Заключение.** В результате исследований выявлены сорта арбуза, слабо реагирующие на изменения условий окружающей среды и способные давать устойчивые урожаи в различных зонах возделывания: Фаворит, Рубин, Икар и Волжанин. Высокая пластичность сортов Юбиляр, Ница, Необычайный, Волжанин говорит о том, что эти сорта относятся к интенсивному типу возделывания и являются более требовательными к уровню агротехники.

Ключевые слова: *сорта арбуза столового, условия возделывания арбуза столового, климатические условия возделывания арбуза столового, почвенные условия возделывания арбуза столового.*

Цитирование. Варивода Е. А., Лазько В. Э., Фомин С. Д. Экологическая пластичность и стабильность сортов арбуза столового в различных почвенно-климатических условиях. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 279-286. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-31.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Одной из самых распространенных бахчевых культур в мире является арбуз. На арбузы приходится 4,7 % посевных площадей и 7,8 % мирового производства овощей [1]. Бахчевые культуры выращиваются практически во всех областях Российской Федерации. По данным Росстата посевные площади бахчевых культур в 2022 году в целом по Российской Федерации составляли 94,2 тыс. га. Основная площадь выращивания плодов бахчевых культур приходится на три Федеральных округа: Южный, Приволжский и Северо-Кавказский (рисунок 1) [2].

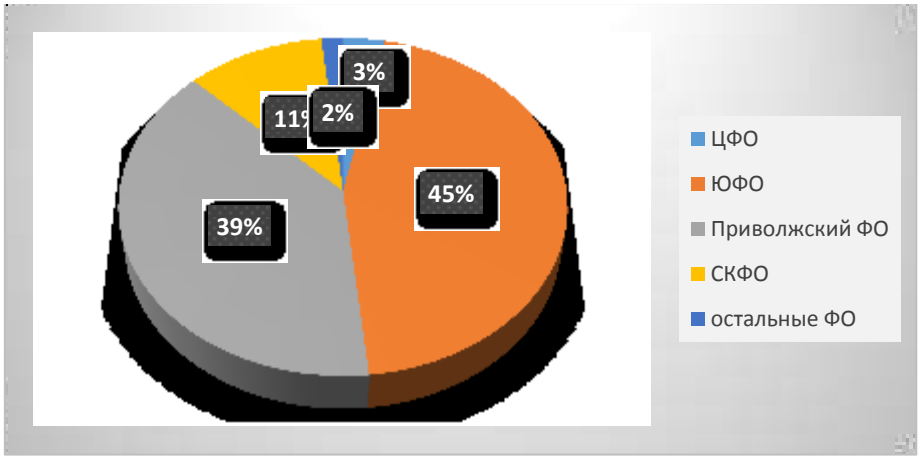


Рисунок 1 – Распределение посевных площадей бахчевых культур по Федеральным округам Российской Федерации (тыс. га)
Figure 1 – Distribution of melon and gourd crops by Federal District of the Russian Federation (thousands of hectares)

Все регионы характеризуются различными агрометеорологическими и почвенными условиями. Как известно, тыквенные подвержены многочисленным стрессам, вызванным абиотическими и биотическими факторами среды, и имеют ограниченный адаптационный потенциал [3]. Поэтому требуются сорта и гибриды, способные формировать стабильно

высокий урожай в различных почвенно-климатических условиях. Адаптивная приспособленность к различным почвенно-климатическим условиям выращивания является важным требованием к распространению новых сортов. К адаптивной способности относят способность сортов к выживанию, воспроизведению и формированию урожая в постоянно изменяющихся условиях внешней среды за счет взаимосвязанного функционирования генетических программ онтогенетической и филогенетической адаптации. Таким образом, селекционерам необходимо выявлять генотипы с высокой урожайностью и стабильностью в различных условиях окружающей среды [4, 5]. При оценке сортов на адаптивность используют такие показатели, как экологическая пластичность и стабильность сортов. Под экологической пластичностью принято считать среднюю реакцию сорта на изменение условий среды, а под стабильностью – отклонение эмпирических данных в каждом условии среды от этой средней.

Для определения этих показателей нами проводятся исследования сортов селекции Быковской бахчевой селекционной опытной станции и ФГБНУ ФНЦО риса в условиях Волгоградской области и Краснодарского края.

Целью данной работы является оценка параметров экологической пластичности и стабильности у сортов бахчевых культур в двух различных почвенно-климатических зонах.

Методика и условия проведения исследований. Исследования проводились на производственном участке в Центральной зоне Краснодарского края на селекционно-семеноводческом участке ФГБНУ «ФНЦ риса» и в сухостепной зоне Волгоградского Заволжья в селекционном питомнике Быковской БСОС – филиале ФГБНУ ФНЦО. Учеты и наблюдения проводились в соответствии с рекомендованными методиками полевого опыта в овощеводстве. Агротехнические мероприятия по выращиванию на опытных участках выполнялись в соответствии с разработанными рекомендациями для регионов [6, 7].

В Волгоградском Заволжье климат континентальный с жарким засушливым летом. Абсолютный максимум температуры воздуха в летний период достигает 38-44 °С. Сумма среднесуточных температур выше 10 °С – 2900-3150 °С. В теплый период осадков выпадает 250-300 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) – 0,50-0,55. Почвы светло-каштановые, супесчаные, лёгкие по гранулометрическому составу. Обладают высокой водопроницаемостью, способны улавливать незначительные осадки. Содержание общего азота 0,12-0,15 %, общего фосфора 0,07-0,09 %, обменного калия – 120-180 мг/кг. Содержание гумуса до 1,1 %.

Климат центральной зоны Краснодарского края умеренно-континентальный, с неустойчивым увлажнением (ГТК – 0,7-1,2). За теплый период года (апрель-октябрь) выпадает осадков – 334-360 мм. Лето наступает рано, в мае, и характеризуется быстрым нарастанием высоких температур, часто сухое и жаркое. Максимальная температура в июле-августе поднимается до 40-42 °С. Сумма положительных среднесуточных температур за вегетационный период составляет 3400-3600 °С. Почва – выщелоченный слитый чернозем. В пахотном горизонте содержится 3,5-4,6 % гумуса, 15-20 мг P_2O_5, 20-30 мг K_2O и сумма поглощенных оснований 39 мг-экв на 100 г воздушно-сухой почвы. После выпадения осадков пахотный горизонт склонен к заплыванию и образованию корки. Климатические показатели этих двух зон удовлетворяют биологическим требованиям бахчевых культур и позволяют получать устойчивые урожаи в богарных условиях [8].

Объектами исследований являлись сорта селекции:

- селекции ФГБНУ «ФНЦ риса»: арбуз – Терский ранний, Ница, Необычайный, Юбиляр;
- Быковской БСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО: арбуз – Рубин, Волжанин, Фаворит, Икар.

Опыты закладывались согласно существующим методикам по бахчевым и овощным культурам [9, 10, 11]. Показатели экологической пластичности и стабильности рассчитывали по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в редакции В. А. Зыкина [12, 13]. Методика основана на вычислении коэффициента линейной регрессии *bi* (экологическая пластичность) и среднего квадратического отклонения от линии регрессии (*Si2*). Для вычисления коэффициента линейной регрессии определяли индексы условий среды *(Ij*), характеризующие изменчивость условий, в которых выращивали сорт. Индексы условий среды определяли по формуле:

$$Ij = \Sigma Yij / v - \Sigma \Sigma Yij / v \times n,$$

где ΣYij – сумма урожайности всех сортов за определенный год; Σ ΣYij – сумма урожайности всех сортов за все годы; v – количество сортов; n – число лет.

Коэффициент регрессии вычисляли по формуле:

$$Bi = ijIj/ij^2,$$

где ijIj – сумма произведений урожайности i-го сорта за j-й год на соответствующую величину индекса условий среды; ij^2 – сумма квадратов индексов условий среды.

Теоретическую урожайность для каждого сорта вычисляли следующим образом:

$$Ij = yi + biIj,$$

где yi – средняя урожайность i-го сорта за все годы испытания, т/га; biIj – произведение коэффициента регрессии i-го сорта на индекс условий среды.

Коэффициент стабильности S^2 определяли, как отношение суммы квадратов отклонений фактической урожайности от теоретической к числу лет испытания.

Стрессоустойчивость и среднюю урожайность в контрастных условиях определяли по уравнению A. A. Rossille, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко [13, 14]. Дисперсионный анализ выполняли по Б. А. Доспехову [15].

Результаты исследований. Метеорологические условия периода исследований (2021-2023 гг.) представлены на рисунках 2 и 3.

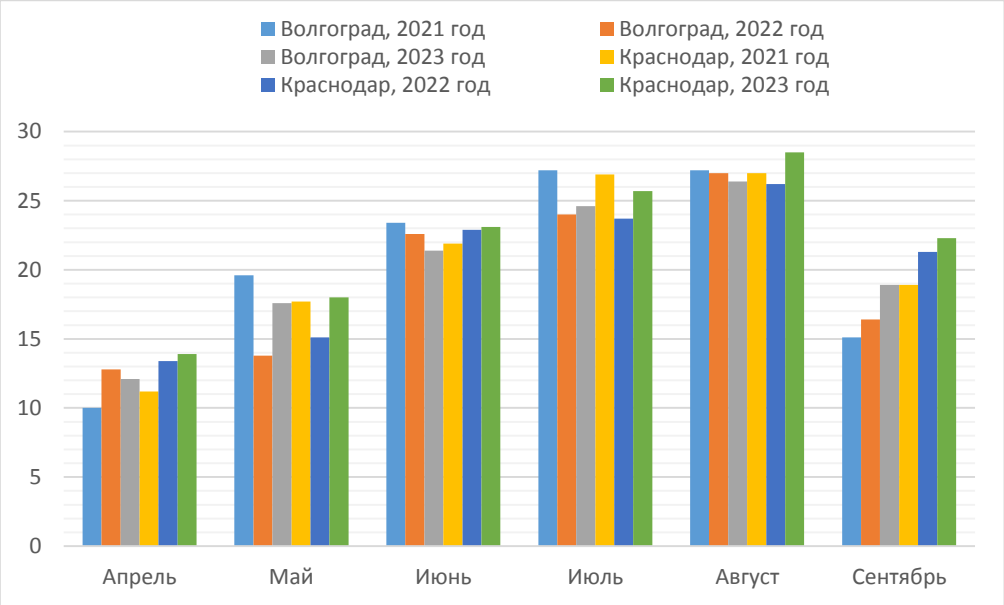


Рисунок 2 – Среднесуточные температуры воздуха за вегетационные периоды 2021-2023 годов
Figure 2 – Average daily air temperatures during the growing seasons of 2021-2023

Анализируя температурные данные периода исследований видно, что самые высокие температуры воздуха наблюдались в мае-июле 2021 года в Волгограде (от 19,6 °С до 27,2 °С) и в августе 2023 года в Краснодаре 28,5 °С. Высокими температурами во все года характеризуется август как в Волгограде, так и в Краснодаре (рисунок 3).

Количество осадков за период вегетации в условиях Краснодарского края значительно выше, чем в Волгоградской области. В 2021 году общее количество осадков в Волгоградской области было на 70,1 % ниже, чем в Краснодарском крае, в 2022 году этот показатель составил 61,6 %, в 2023 году – 62,3 %.

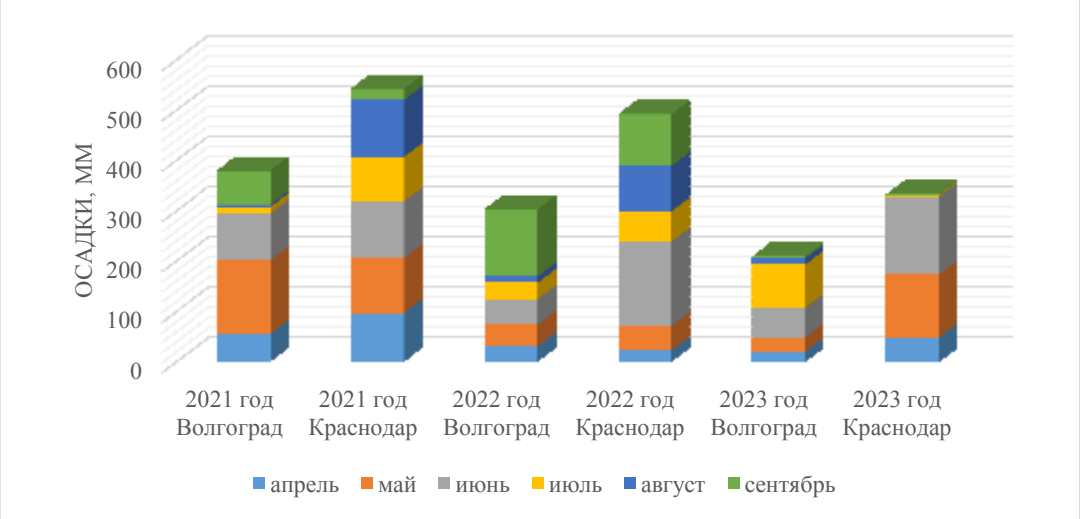


Рисунок 3 – Количество осадков за вегетационные периоды 2021-2023 годов
Figure 3 – Precipitation during the growing seasons of 2021-2023

В результате экологических испытаний сортов арбуза столового нами выявлено, что самая высокая урожайность была получена в условиях Краснодара в 2023 году и составила 48,1 т/га у сорта Ница (таблица 1). Самая низкая урожайность отмечена в 2022 году также в условиях Краснодара по всем исследуемым сортам арбуза; урожайность колебалась от 4,9 т/га у сорта Терский ранний до 11,5 т/га у сорта Необычайный. В условиях Волгоградской области колебания урожайности как по годам, так и по сортам наблюдались в более низком диапазоне. Самая низкая, так же как и самая высокая урожайность отмечены в 2023 году. Такие данные можно объяснить влиянием погодных условий. Для характеристики погодных условий нами рассчитан индекс среды (Ij). Наиболее благоприятные погодные условия сложились в 2021 и 2023 годах в Краснодаре, индекс среды составил +8,13 и +10,44 соответственно. Самым низким индексом среды характеризовался 2022 год также в Краснодаре (-12,90). В Волгограде относительно неблагоприятными условиями отличались 2021 и 2022 годы. 2023 год в Волгограде имеет положительный индекс условий среды, в этом году получена самая высокая урожайность за годы исследования – 28,5 т/га у сорта арбуза Фаворит.

Таблица 1 – Фактическая урожайность сортов арбуза в различных почвенно-климатических условиях (2021-2023 гг.)
Table 1 – Actual yield of watermelon varieties in various soil and climatic conditions (2021-2023)

Сорт / Variety	Краснодар / Krasnodar				Волгоград / Volgograd			
	2021 год / year	2022 год / year	2023 год / year	среднее / average	2021 год / year	2022 год / year	2023 год / year	среднее / average
Терский ранний / Tersky ranny	20,4	4,9	19,4	14,9	15,8	17,8	13,7	15,8
Ница / Nitca	29,7	6,7	48,1	28,2	16,0	16,0	28,0	20,0
Юбиляр / Ubilar	30,5	6,4	30,6	22,5	11,4	17,4	17,0	15,3
Необычайный / Neobichainy	32,4	11,5	36,9	26,9	22,4	16,9	22,1	20,5
Фаворит / Favorit	29,1	7,4	30,6	22,4	21,0	17,6	28,5	22,4
Волжанин / Volzhanin	31,7	7,2	30,6	23,1	20,4	17,2	24,3	20,6
Икар / Ikar	28,4	10,1	25,6	21,4	15,4	16,5	18,2	16,7
Рубин / Rubin	30,2	10,2	29,4	23,3	18,4	18,4	26,8	21,2
$НСР_{05}$	4,06							
Индекс среды (Ij) / Environment Index (Ij)	+8,13	-12,90	+10,44	-	-3,35	-3,72	+1,38	-

Одной из задач экологических испытаний является определение экологической пластичности и стабильности сортов. Для определения уровня пластичности исследуемых сортов арбуза рассчитывали коэффициент регрессии b_1. Средней пластичностью обладает

сорт арбуза Юбиляр, коэффициент регрессии 1,0, урожайность увеличивается или уменьшается в зависимости от условий среды (таблица 2). Самой высокой пластичностью отличается сорта Ница и Необычайный, коэффициент регрессии более 1,0. Сорта арбуза Фаворит, Рубин, Икар и Терский ранний слабо реагируют на изменяющиеся условия среды и обладают низкой пластичностью.

Таблица 2 – Коэффициенты экологической пластичности и стабильности сортов арбуза столового в различных зонах выращивания
Table 2 – Coefficients of ecological plasticity and stability of table watermelon varieties in different growing zones

Сорт / Variety	Фактическая средняя урожайность, т/га / Actual average yield, t/ha	Теоретическая средняя урожайность, т/га / Theoretical average yield, t/ha			Коэффициент регрессии (bi) / Regression coefficient (bi)	Коэффициент стабильности (Si^2) / Stability coefficient (Si^2)
		2021	2022	2023		
Терский ранний / Tersky ranny	15,3	17,3	7,8	20,6	0,6	15,1
Ница / Nitca	24,1	27,3	15,0	32,4	1,3	180,4
Юбиляр / Ubilar	19,2	21,4	9,8	25,4	1,0	31,1
Необычайный / Neobichainy	23,7	26,7	12,9	31,4	1,2	27,9
Фаворит / Favorit	22,4	25,2	12,4	29,5	0,8	2,1
Волжанин / Volzhanin	21,9	24,7	14,7	28,9	0,9	2,2
Икар / Ikar	19,0	21,5	11,8	25,5	0,7	1,8
Рубин / Rubin	22,2	25,0	15,1	29,3	0,8	0,7

Стабильными по урожайности являются сорта Фаворит, Волжанин, Икар, Рубин. Они обладают низким коэффициентом стабильности от 0,7 до 2,2. Высокий показатель стабильности выявлен у сорта Ница – 180,4. У этого сорта самые большие колебания между максимальной и минимальной урожайностью, он очень зависим от условий среды.

Заключение. В результате проведенных исследований нами выявлены сорта арбуза столового, слабо реагирующие на изменения условий окружающей среды и способные давать устойчивые урожаи в различных зонах возделывания: Фаворит, Рубин, Икар и Волжанин. Высокая пластичность сортов Юбиляр, Ница, Необычайный, Волжанин говорит о том, что эти сорта относятся к интенсивному типу возделывания и являются более требовательными к уровню агротехники.

Conclusion. As a result of our research, we have identified table watermelon varieties that are less sensitive to changes in environmental conditions and are capable of producing stable yields in various cultivation zones: Favorit, Rubin, Ikar, and Volzhanin. The high adaptability of the Jubilar, Nitsa, Neobychainy, and Volzhanin varieties indicates that they belong to the intensive cultivation type and are more demanding in terms of agricultural practices.

Библиографический список

1. Kyriacou M., Leskovar D. I., Colla G., Rouphael Y. Watermelon and melon fruit quality: The genotypic and agricultural and environmental factors implicated. Scientia Horticulturae. 2018. No 234 (9). Pp. 393-408.
2. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Посевные площади Российской Федерации в 2022 году. М., 2023. С. 101.
3. Grumet R., McCreight J. D., McGregor C., Weng Y., Mazourek M., Reitsma K. et el. Genetic Resources and Vulnerabilities of Major Cucurbit Crops. Genes. 2021.
4. Жученко, А. А. Актуальность экологической генетики культурных растений. Вестник аграрной науки. 2017. № 5 (68). С. 26-29.
5. Bouloumpasi E., Zotis S., Korkovelos A., Kantas D., Ipsilandis C. G. The Comparative Study on Stability of Seed Characteristics in Vetch and Pea Cultivations by Vasileios Greveniotis. Agriculture. 2023. No 13 (5). Art. 1092.
6. Сайнакова А. Б., Литвинчук О. В. Оценка экологической пластичности и стабильности коллекционных образцов овса по массе 1000 зерен. Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. № 4-3 (64). С. 72-74.
7. Лазько В. Э. и др. Агроэкологическое испытание сортов дыни и арбуза в Краснодарском крае и Волгоградской области. Рисоводство. 2023. № 2 (59). С. 71-78.
8. Лазько В. Э., Ковалева Е. В., Якимова О. В., Варивода Е. А. Итог трехлетней агроэкологической оценки сортов бахчевых культур волгоградской и кубанской селекции в условиях центральной зоны Краснодарского края. Рисоводство. 2025. Т. 24. № 1 (66). С. 77-85.
9. Гулин А. В. и др. Изучение морфобиологических признаков коллекционных образцов арбуза для дальнейшего использования в селекционном процессе. The Scientific Heritage. 2022. № 83-2 (83). С. 15-18.
10. Белик В. Ф., Бондаренко Г. Л. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве. М., 1979. 210 с.
11. Литвинов С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М., 2011. 649 с.

12. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнева С. П. Методики расчёта экологической пластичности сельскохозяйственных растений по дисциплине «Экологическая генетика». Омск, 2008. 36 с.
13. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments. Crop Sci. 1981. V. 21 (6). Pp. 943-946.
14. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49-53.
15. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 350 с.

References

1. Kyriacou M., Leskovar D. I., Colla G., Rouphael Y. Watermelon and melon fruit quality: The genotypic and agricultural and environmental factors implicated. Scientia Horticulturae. 2018. No 234 (9). Pp. 393-408.
2. Federal State Statistics Service (Rosstat). Cultivated areas of the Russian Federation in 2022. M., 2023. P. 101.
3. Grumet R., McCreight J. D., McGregor C., Weng Y., Mazourek M., Reitsma K. et el. Genetic Resources and Vulnerabilities of Major Cucurbit Crops. Genes. 2021.
4. Zhuchenko A. A. Relevance of ecological genetics of cultivated plants. Bulletin of Agrarian Science. 2017. № 5 (68). Pp. 26-29.
5. Bouloumpasi E., Zotis S., Korkovelos A., Kantas D., Ipsilandis C. G. The Comparative Study on Stability of Seed Characteristics in Vetch and Pea Cultivations by Vasileios Greveniotis. Agriculture. 2023. No 13 (5). Art. 1092.
6. Sainakova A. B., Litvinchuk O. V. Assessment of ecological plasticity and stability of collection samples of oats by weight of 1000 grains. Bulletin of Kemerovo State University. 2015. № 4-3 (64). Pp. 72-74.
7. Lazko E. V. et al. Agroecological testing of melon and watermelon varieties in the Krasnodar Territory and the Volgograd region. Rice farming. 2023. № 2 (59). Pp. 71-78.
8. Lazko V. E., Kovaleva E. V., Yakimova O. V., Varivoda E. A. The result of a three-year agroecological assessment of melon varieties of Volgograd and Kuban breeding in the conditions of the central zone of the Krasnodar Region. Rice farming. 2025. Vol. 24. No. 1 (66). Pp. 77-85.
9. Gulin A. V. et al. Study of morphobiological features of watermelon collection samples for further use in the breeding process. The Scientific Heritage. 2022. № 83-2 (83). Pp. 15-18.
10. Belik V. F., Bondarenko G. L. Methodology of field experience in vegetable growing and melon growing. Moscow, 1979. 210 p.
11. Litvinov S. S. Methodology of field experience in vegetable growing. M. 2011.649 p.
12. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S., Korneva S. P. Methods of calculating the ecological plasticity of agricultural plants in the discipline "Ecological Genetics". Omsk, 2008. 36 p.
13. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments. Crop Sci. 1981. V. 21 (6). Pp. 943-946.
14. Goncharenko A. A. On adaptability and ecological sustainability of grain varieties. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2005. No 6. Pp. 49-53.
15. Dospekhov B. A. Methodology of field experience. Moscow: Alliance, 2014. 350 p.

Информация об авторах

Варивода Елена Александровна, старший научный сотрудник, Быковская БСОС – филиал ФГБНУ ФНЦО (Российская Федерация, 404067, Волгоградская область, Быковский район, пос. Зелёный, ул. Сиреневая, 11), e-mail: elena-varivoda@mail.ru
Лазько Виктор Эдуардович, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ «ФНЦ риса» (Российская Федерация, 350921, Краснодарский край, г. Краснодар, поселок Белозерный, 3), e-mail: lazko62@mail.ru
Фомин Сергей Денисович, профессор РАЕ, доктор технических наук, профессор кафедры, ФБГОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

Authors' Information

Varivoda Elena Aleksandrovna, Senior Researcher, Bykovskaya melon breeding experimental station – the branch of the "Federal Scientific Center for Vegetable Growing" (Russian Federation, 404067, Volgograd region, Bykovsky district, Zelenoe village), https://orcid.org/0000-0001-5580-4813, e-mail: elena-varivoda@mail.ru
Lazko Viktor Eduardovich, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Rice Research Center (Russian Federation, 350921, Krasnodar region, Krasnodar, settlement Belozerny, 3), e-mail: arrri_kub@mail.ru
Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Russian Academy of Economics, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-32

THE WRKY GENE FAMILY DUPLICATIONS AND EVOLUTIONARY EXPANSION IN THE *ROBINIA PSEUDOACACIA* L. GENOME

Vishnyakov S. A., Krylov P. A.

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

Corresponding author E-mail: vishnyakov-s@vfanc.ru

Received 05.03.2026 Submitted 07.07.2026

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. FNFE-2025-0013 «Regulation of gene expression involved in the adaptation to adverse environmental factors to improve economically valuable traits of woody and cultivated plants used in agroforestry».

Summary

The article explores the duplication of WRKY transcription factor genes using modern bioinformatics methods.

Abstract

Introduction. Robinia pseudoacacia L. is a valuable tree species widely used in agroforestry. This species plays an important role in the creation of sustainable forest ecosystems in arid areas. Its adaptive potential makes this tree a good option for protection against degradation of territories. **Materials and methods.** The paper analyzes duplications and the evolutionary expansion of the WRKY family in the R. pseudoacacia genome using genome data from open sources. The identification of gene duplication, calculation of Ka/Ks and dating of divergence based on average Ks values was carried out using the following tools: MCScanX, TBtools-II. **Results and conclusions.** During the study of the chromosomal arrangement of WRKY family genes in the R. pseudoacacia genome, their uneven distribution was revealed. From 10 to 15 genes are localized on chromosomes 2, 8, 9, 10 and 11, and the rest on chromosomes 1, 3, 5, 6 and 7. The MCScanX tool identified 41 pairs of duplicated RpWRKY genes. At the same time, the predominance of interchromosomal connections was found, which indicate the dominant role of segmental duplications in the formation of the RpWRKY gene family. The values of Ka/Ks < 1 were established for all pairs of duplicated RpWRKY genes, which indicates the effect of negative selection and functional conservativeness of encoded WRKY family proteins. The calculation of the time of divergence (17.58-103.3 million years ago) shows the involvement of both ancient and later genomic events in the evolution of RpWRKY. The results obtained are of practical importance for functional genomics and breeding, since WRKY genes are key regulators of stress responses and represent promising targets for genomic editing.

Keywords: *Robinia pseudoacacia, evolution, WRKY, gene duplication, drought resistance of woody plants.*

Citation. Vishnyakov S. A., Krylov P. A. The WRKY gene family duplications and evolutionary expansion in the *Robinia pseudoacacia* L. genome. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 286-295 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-32.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 631.52:582.736

ДУПЛИКАЦИИ И ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАСШИРЕНИЕ СЕМЕЙСТВА ГЕНОВ WRKY В ГЕНОМЕ *ROBINIA PSEUDOACACIA* L.

Вишняков С. А., *аспирант*, *инженер-исследователь*
Крылов П. А., *кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FNFE-2025-0013 «Управление экспрессией генов, вовлеченных в процесс адаптации к неблагоприятным факторам внешней среды, для улучшения хозяйственно-ценных признаков древесно-кустарниковых и культурных растений, используемых в агролесомелиорации».

Актуальность. Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) – ценная древесная порода, широко используемая в агролесомелиорации. Этот вид играет важную роль в создании устойчивых лесных экосистем на засушливых территориях. Его адаптационный потенциал делает данную древесную породу хорошим вариантом для защиты территорий от деградации. **Материалы и методы.** В работе проведён анализ дупликаций и эволюционного расширения семейства *WRKY* в геноме *R. pseudoacacia* с использованием данных о геноме из открытых источников. Выявление дупликаций генов, расчёт Ka/Ks и датировка дивергенции на основе средних значений Ks проводились с использованием инструментов MCScanX и TBtools-II. **Результаты и выводы.** В ходе изучения хромосомного расположения генов семейства *WRKY* в геноме *R. pseudoacacia* было выявлено их неравномерное распределение. На хромосомах 2, 8, 9, 10 и 11 локализовано от 10 до 15 генов, остальные – на хромосомах 1, 3, 5, 6 и 7. Инструмент MCScanX позволил идентифицировать 41 пару дуплицированных генов *RpWRKY*. При этом обнаружено преобладание межхромосомных связей, которые указывают на доминирующую роль сегментных дупликаций в формировании семейства генов *RpWRKY*. Для всех пар дуплицированных генов *RpWRKY* установлены значения Ka/Ks < 1, что свидетельствует о действии негативного отбора и функциональной консервативности кодируемых белков семейства WRKY. Расчёт времени дивергенции (17,58–103,3 млн лет назад) показывает участие как древних, так и более поздних геномных событий в эволюции *RpWRKY*. Полученные результаты имеют прикладное значение для функциональной геномики и селекции, поскольку гены WRKY являются ключевыми регуляторами стресс-ответов и представляют перспективные мишени для геномного редактирования.

***Ключевые слова*:** *Robinia pseudoacacia, WRKY, дупликация генов, засухоустойчивость древесных растений.*

Цитирование. Вишняков С. А., Крылов П. А. Дупликации и эволюционное расширение семейства генов *WRKY* в геноме *Robinia pseudoacacia* L. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 286-295. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-32.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. *Robinia pseudoacacia* L. представляет собой быстрорастущую древесную породу, имеющую особую экологическую ценность в условиях засушливого климата [1]. Благодаря сочетанию физиологических и морфологических адаптаций к водному и ионному стрессу данный вид отличается высокой экологической пластичностью: он способен эффективно функционировать в условиях длительного дефицита влаги за счёт развитой корневой системы, а также за счёт механизмов регуляции транспирации и осмотического баланса [2, 3]. *R. pseudoacacia* также обладает высокой толерантностью к засолению почв [4, 5]. Благодаря этому вид успешно закрепляется на деградированных землях, непригодных для большинства древесных пород [6]. В лесохозяйственной практике данные свойства обусловливают широкое использование вида в искусственных лесных насаждениях, где он выполняет роль основной лесообразующей породы. Такие насаждения способствуют стабилизации почвенного покрова и снижению эрозионных процессов. Кроме того, формирование древесного полога и накопление органического вещества создают условия для последующего заселения территории другими видами растений.

Несмотря на широкое применение *R. pseudoacacia* в лесомелиорации, генетические и молекулярные механизмы, лежащие в основе устойчивости к неблагоприятным условиям среды, остаются изученными недостаточно. Существенную роль в процессах адаптации играют факторы транскрипции, среди которых семейство WRKY занимает одно из ключевых мест у высших растений [7]. Семейство факторов транскрипции WRKY высших растений играет важную роль в регулировании экспрессии различных генов-мишеней, участвующих в развитии растений и реакциях на абиотические стрессы, такие как засуха, засоленность и высокая температура [8-11].

Ключевой структурной особенностью белков WRKY является наличие в аминокислотной последовательности консервативного домена WRKY. Домен имеет длину около 60 аминокислот, содержит характерную последовательность WRKYGQK и цинковый мотив C_2H_2 или C_2HC на С-конце [12]. В зависимости от количества основных доменов и структуры цинковых пальцев белки делят на три группы, впервые описанные в работе [13]. Структура WRKYGQK и мотивы цинковых пальцев играют важную роль в обеспечении высокой аффинности транскрипционных факторов WRKY к консенсусным элементам цис-регуляторного региона ДНК 5′-C/TTGACT/C-3′, называемым W-box. Наличие этого региона в промоторных областях генов-мишеней позволяет семейству транскрипционных факторов WRKY регулировать их экспрессию [14-16].

Количество генов, кодирующих эти факторы транскрипции, значительно варьируется у различных видов растений. В большинстве случаев число генов *WRKY* у растений составляет в среднем от 50 до 130. Даже у близкородственных видов количество генов этого семейства может отличаться. Разнообразие числа генов WRKY, встречающихся у различных растений, демонстрирует сложность эволюции этого семейства [9]. Эволюционное расширение семейства WRKY у растений тесно связано с формированием адаптивных признаков, включая устойчивость к абиотическим стрессам. Дуплицированные гены WRKY нередко демонстрируют дифференцированную экспрессию, функциональную специализацию или функциональную избыточность, что делает их перспективными мишенями для прикладных исследований [17]. Понимание эволюционных взаимоотношений и функциональной дивергенции генов *WRKY* у *R. pseudoacacia* создаёт основу для рационального отбора генов-кандидатов, потенциально участвующих в регуляции стрессоустойчивости. В предыдущем исследовании мы идентифицировали 85 генов *WRKY* в геноме *R. pseudoacacia* [18].

В связи с вышесказанным, целью исследования стало проведение эволюционного анализа генов семейства *WRKY* в геноме *Robinia pseudoacacia* L. для выявления дуплицированных паралогов и оценки их возможной функциональной избыточности.

Материалы и методы. Полная геномная последовательность *R. pseudoacacia*, последовательности транскриптов и белков были получены из Figshare (doi.org/10.6084/m9.figshare.23301668) [19]. Последовательности всех генов *RpWRKY* были выявлены нами в предыдущем исследовании [18] и использованы в текущей работе.

Множественное выравнивание нуклеотидных последовательностей внутри генома *R. pseudoacacia* было осуществлено с использованием BLAST в наборе инструментов для обработки биологических данных TBtools-II [20]. Анализ дупликации генов был проведён с использованием инструмента для обнаружения и эволюционного анализа синтении и коллинеарности генов MCScanX [21]. Полученные данные анализа дупликации генов были визуализированы при помощи Circos [22] и пакета ggplot2 языка программирования R.

Для расчёта коэффициентов синонимичных (Ks) и несинонимичных (Ka) замен, а также их отношения (Ka/Ks), использовали пары дуплицированных генов из каждого дуплицированного блока и соответствующие гомологичные сегменты.

Для каждой пары дуплицированных участков было рассчитано среднее значение Ks для фланкирующих консервативных генов, а затем эти значения были переведены во время расхождения в миллионах лет, исходя из скорости $9{,}1 \times 10^{-9}$ замен на сайт в год. Время расхождения (T) было рассчитано по формуле $T = (Ks / (2 \times \lambda)) \times 10^{-6}$ млн лет назад ($\lambda = 9{,}1 \times 10^{-9}$) [23]. Пары генов со значением Ks > 2 считались эволюционно насыщенными и были исключены из последующего анализа датировки.

Результаты. В ходе исследования было определено хромосомное расположение всех генов семейства *WRKY* в геноме *R. pseudoacacia*. Их распределение по хромосомам неравномерно: на хромосомах 2, 8, 9, 10 и 11 локализовано по 10-15 генов, тогда как на хромосомах 1, 3, 5, 6 и 7 – от 1 до 5, наименьшее количество генов расположено на хромосоме 3 (1 ген) (рисунок 1). В соответствии с их положением гены получили новые порядковые обозначения вместо идентификаторов, присвоенных при аннотации генома.

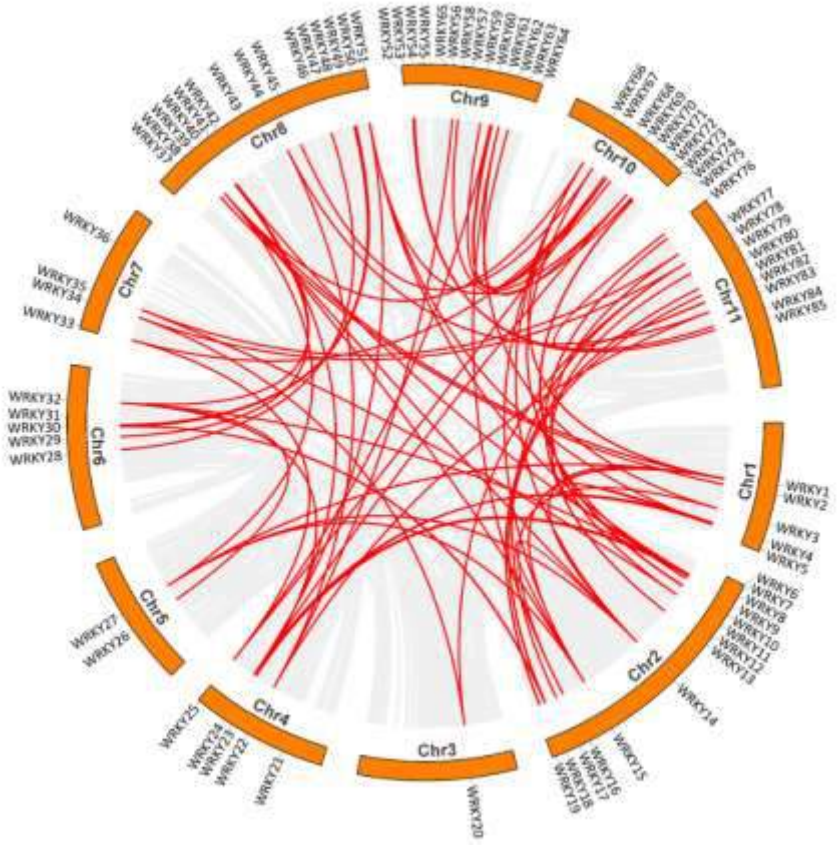


Рисунок 1 – Хромосомное расположение и дуплицированные пары генов семейства транскрипционных факторов *WRKY* в геноме *Robinia pseudoacacia*. Коллинеарные (синтеничные) пары генов Rp*WRKY* соединены красными линиями. Серые линии обозначают все остальные коллинеарные блоки, выявленные в геноме *R. pseudoacacia*

Figure 1 – Chromosomal location and duplicated pairs of WRKY transcription factor family genes in the Robinia pseudoacacia genome. Collinear (syntenic) pairs of *RpWRKY* genes are connected by red lines. Gray lines represent all other collinear blocks identified in the *R. pseudoacacia* genome

Всего в геноме *R. pseudoacacia* было идентифицировано 10252 дуплицированных генов. Среди них выявлено 41 дуплицированная пара *WRKY* со значением 0 < Ks < 2, при этом отдельные гены участвовали в нескольких событиях дупликации. Большинство дупликационных связей соединяют гены, локализованные на разных хромосомах, что указывает на высокое количество сегментных дупликаций (рисунок 1). Преобладание сегментных дупликаций также подтверждается результатами работы алгоритма duplicate_gene_classifier, основанного на MCScanX, для классификации происхождения дублирующихся генов в одном геноме.

Для оценки эволюционного давления на коллинеарные пары генов, выявленные с помощью MCScanX, были рассчитаны значения Ka, Ks и Ka/Ks (таблица 1). При расчёте Ka/Ks дополнительно оценивались эффективная длина кодирующего выравнивания, число синонимичных и несинонимичных сайтов (Ka/Ks > 1 соответствует положительному отбору, Ka/Ks < 1 указывает на негативный отбор).

Таблица 1 – Дуплицированные гены WRKY в геноме R. Pseudoacacia
Table 1 – Duplicated WRKY genes in the R. Pseudoacacia genome

Дуплицированные пары генов / Duplicated gene pairs	Структурная группа / Structural group	Ka	Ks	Ka/Ks	Дата дупликации (млн лет назад) / Date of duplication (million years ago)
WRKY27/WRKY38	IIb	0,19	0,32	0,6	17,58
WRKY84/WRKY53	I	0,09	0,36	0,26	19,78
WRKY28/WRKY46	IIc	0,08	0,39	0,2	21,43
WRKY4/WRKY7	IIe	0,24	0,41	0,58	22,53
WRKY81/WRKY18	IIb	0,22	0,42	0,52	23,08
WRKY1/WRKY14	IIb	0,19	0,43	0,44	23,63
WRKY67/WRKY8	IId	0,19	0,44	0,43	24,18
WRKY66/WRKY15	IIb	0,17	0,47	0,36	25,82
WRKY68/WRKY62	IId	0,11	0,47	0,22	25,82
WRKY20/WRKY34	IIb	0,12	0,47	0,26	25,82
WRKY72/WRKY57	III	0,24	0,5	0,47	27,47
WRKY30/WRKY50	IIb	0,2	0,51	0,39	28,02
WRKY79/WRKY12	IIe	0,21	0,52	0,41	28,57
WRKY76/WRKY82	I	0,18	0,54	0,33	29,67
WRKY74/WRKY10	IId	0,17	0,56	0,31	30,77
WRKY85/WRKY54	IIb	0,17	0,58	0,3	31,87
WRKY73/WRKY58	III	0,21	0,59	0,35	32,42
WRKY71/WRKY64	III	0,23	0,59	0,38	32,42
WRKY29/WRKY40	I	0,39	0,6	0,65	32,97
WRKY23/WRKY42	IIe	0,16	0,65	0,25	35,71
WRKY26/WRKY32	IIe	0,25	0,82	0,31	45,05
WRKY77/WRKY11	IIe	0,19	0,93	0,21	51,10
WRKY70/WRKY59	IIc	0,11	1,08	0,1	59,34
WRKY66/WRKY38	IIb	0,45	1,21	0,37	66,48
WRKY15/WRKY38	IIb	0,39	1,26	0,31	69,23
WRKY1/WRKY15	IIb	0,5	1,28	0,39	70,33
WRKY1/WRKY66	IIb	0,46	1,29	0,36	70,88
WRKY15/WRKY27	IIb	0,46	1,43	0,32	78,57
WRKY11/WRKY35	IIe	0,4	1,46	0,28	80,22
WRKY14/WRKY38	IIb	0,46	1,48	0,31	81,32
WRKY77/WRKY35	IIe	0,37	1,5	0,25	82,42
WRKY2/WRKY37	I	0,28	1,53	0,18	84,07
WRKY1/WRKY38	IIb	0,46	1,57	0,29	86,26
WRKY14/WRKY27	IIb	0,52	1,64	0,32	90,11
WRKY1/WRKY27	IIb	0,47	1,66	0,28	91,21
WRKY83/WRKY22	I	0,41	1,68	0,25	92,31
WRKY22/WRKY65	I	0,35	1,73	0,21	95,05
WRKY14/WRKY15	IIb	0,46	1,79	0,26	98,35
WRKY16/WRKY63	IIc	0,32	1,81	0,18	99,45
WRKY7/WRKY23	IIe	0,56	1,85	0,3	101,65
WRKY66/WRKY14	IIb	0,46	1,88	0,25	103,30

В ходе анализа были определены значения Ka/Ks для 41 пары дуплицированных генов *RpWRKY* (таблица 1). Полученные результаты указывает на то, что дуплицированные *RpWRKY* в ходе эволюции подвергались негативному отбору с ограниченной функциональной дивергенцией. Все пары дуплицированных генов *RpWRKY* сохраняли аминокислотную структуру основных функциональных доменов, что подтверждает высокую консервативность белков WRKY. По произведённым расчётам, исходя из скорости дивергенции $9{,}1\times10^{-9}$ синонимичных нуклеотидных замен на синонимичный сайт в год, дупликация 41 пары паралогов произошла в период от 17,6 до 103,3 млн лет назад.

Рисунок 2 демонстрирует распределение значений Ka/Ks в зависимости от величины Ks у 41 пары дуплицированных генов *RpWRKY*. Значения Ks указывают на различие во времени эволюционных событий дупликации пар генов относительно друг друга. Дуплицированные гены с низкими значениями Ks соответствуют недавним дупликациям, более высокие значения Ks указывают на более древние события. Снижение показателей Ka/Ks при увеличении Ks отражает эффект насыщения синонимичных замен в эволюционном процессе семейства генов *WRKY*.

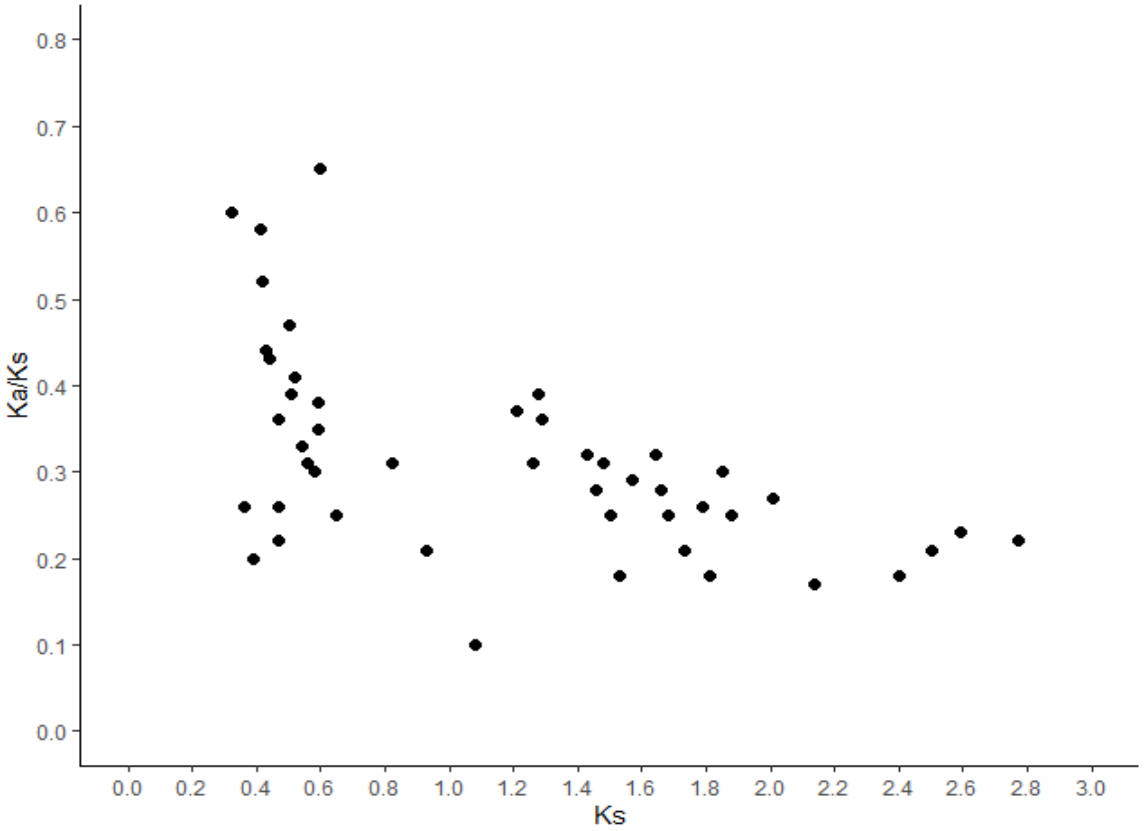


Рисунок 2 – Точечная диаграмма распределения Ka/Ks относительно Ks для выявленных дуплицированных генов *RpWRKY*. Каждая точка на диаграмме соответствует одной паре дуплицированных генов *RpWRKY*

Figure 2 – Dot plot of Ka/Ks distribution relative to Ks for identified duplicated *RpWRKY* genes. Each dot on the plot corresponds to one pair of duplicated *RpWRKY* genes

Обсуждение. Дупликации генома играют ключевую роль в эволюции растений и расширении семейств генов. Наиболее распространёнными типами дупликаций являются тандемные дупликации, при которых последовательность гена или части гена дуплицируется в пределах 200 тыс. пар нуклеотидов от оригинала, и сегментарные дупликации, при которых копируются отдельные участки хромосом [17, 24]. Геном *R. pseudoacacia* претерпел два раунда полногеномной дупликации, включая древнее γ-событие, общее для покрытосеменных растений, и более позднее событие, характерное для подсемейства *Faboideae* (~59 млн лет назад). При этом видоспецифичной полногеномной дупликации у *R. pseudoacacia*, в отличие от *Glycine max* L., выявлено не было [25]. Несмотря на то что для всех 85 генов *RpWRKY* был определён тип дупликации, расчёт Ka/Ks был возможен

только для 41 пары паралогов. Это было связано с тем, что анализ Ka/Ks ограничен диапазоном значений Ks (от 0 до 3) из-за того, что с ростом значения сильно возрастает погрешность оценки времени дивергенции. Поэтому пары внутри семейства *WRKY*, которые характеризуется высокой степенью дивергенции, исключаются из анализа.

Неравномерное распределение генов семейства *WRKY* на хромосомах *R. pseudoacacia* свидетельствует о значительном генетическом разнообразии данного семейства. По результатам анализа Ka/Ks гены *WRKY R. pseudoacacia* образовались вследствие древних дупликаций, которые произошли ещё до разделения вида с другими бобовыми. Дивергенция *R. pseudoacacia* с родственными видами (*M. truncatula*, *T. pratense* и др.) оценивается в 41 млн лет [19]. Это означает, что многие дупликации, являющиеся общими для этих видов, произошли в геноме их общего предка. При этом расширение семейства генов *WRKY* у *R. pseudoacacia* после разделения с другими видами семейства бобовых связано не с удвоением всего генома, а с древними сегментарными дупликациями отдельных участков.

Сохранение групповой принадлежности дуплицированных генов *RpWRKY* может означать наличие эволюционных ограничений, препятствующих изменениям доменной структуры. Таким образом, возможная эволюционная дивергенция *RpWRKY* после дупликации, вероятно, происходила преимущественно на уровне регуляции экспрессии, а не структуры белка. Данный тип субфункционализации возникает в результате комплементарной потери или дегенеративной мутации цис-регуляторных элементов между дуплицированными генами, что приводит к взаимозависимости между частично дегенерировавшими копиями для поддержания полного профиля экспрессии исходного гена в различных тканях и/или условиях [26]. Однако некоторые дуплицированные гены в течение долгого времени не подвергаются дивергенции, что приводит к функциональной избыточности генов [27]. В связи с этим подавление одного функционально избыточного гена с помощью генного редактирования не приведёт к существенным результатам. Так, например, в обзоре [28] отмечено, что гены *Arabidopsis thaliana* L. *AtWRKY3* и *AtWRKY4* дублируют функции друг друга в ответ на солевой стресс. Аналогично, для генов *AtTCP9* и *AtTCP20* изменение фенотипа наблюдается лишь при их одновременном нокауте, что указывает на функциональную избыточность этих генов. В другом исследовании сообщалось, что эффект нокаута одного из дуплицированных генов проявляется только в экстремальных условиях, где его естественная функциональная избыточность имеет критическое значение для выживания растения. Однако в отсутствие стресса другая копия полностью компенсирует потерю. Такой механизм обеспечивает адаптивную гибкость генома [29]. Следовательно, для эффективного применения генной инженерии необходимо подробно изучать паралогичные гены. Дальнейший анализ цис-регуляторных областей промоторов *RpWRKY* позволит выявить стресс-индуцируемые регуляторные элементы и определить гены-кандидаты для повышения адаптационного потенциала и устойчивости *R. pseudoacacia* в условиях неблагоприятных внешних факторов среды.

Заключение. В ходе исследования был проведён анализ дупликаций и эволюционного расширения семейства генов *WRKY* в геноме *R. pseudoacacia*. Была идентифицирована 41 пара дуплицированных генов *RpWRKY*. Большое количество паралогов подтверждает значительный вклад эволюционных событий дупликации в формирование семейства WRKY у *R. pseudoacacia*. Преобладание межхромосомных коллинеарных связей между *RpWRKY* указывает на ключевую роль дупликаций сегментного типа в расширении семейства *WRKY*. Отношение Ka/Ks всех дуплицированных пар не превышало единицы. Такое значение может свидетельствовать о действии негативного отбора и сохранении аминокислотных последовательностей функциональных доменов WRKY. Даты эволюционной дивергенции генов семейства *WRKY* составляют промежуток от 17,6 до 103,3 млн лет назад. Большой промежуток времени указывает на участие как древних, так и более современных эволюционных событий дупликации в формировании семейства *WRKY* у *R. pseudoacacia*. Полученные данные могут иметь прикладное значение для исследований по изучению стрессоустойчивости и различных селекционных программ. Так как транскрипционные факторы WRKY играют важную роль в регуляции ответов на абиотические и биотические стрессы у древесных растений, выявленные пары дуплицированных генов являются перспективными кандидатами для редактирования генома с целью получения более устойчивых к неблагоприятным условиям внешней среды пород.

Conclusions. The study analyzed the duplications and evolutionary expansion of the WRKY gene family in the *R. pseudoacacia* genome. A total of 41 pairs of duplicated *RpWRKY* genes were identified. The high number of paralogs confirms the significant contribution of evolutionary duplication

events to the formation of the WRKY family in *R. pseudoacacia*. The prevalence of interchromosomal collinear relationships between *RpWRKY* genes indicates the key role of segmental duplications in the expansion of the WRKY family. The Ka/Ks ratio of all duplicated pairs did not exceed one. This value may indicate the action of negative selection and the preservation of amino acid sequences in the functional domains of WRKY. The dates of evolutionary divergence of the WRKY family genes range from 17.6 to 103.3 million years ago. This large time span suggests the involvement of both ancient and more recent evolutionary duplication events in the formation of the WRKY family in *R. pseudoacacia*. The data obtained can have an applied value in the field of research on the study of stress resistance and various breeding programs. Since the WRKY transcription factors play an important role in the regulation of responses to abiotic and biotic stresses in woody plants, the identified pairs of duplicated genes are promising candidates for genome editing in order to obtain more resistant to adverse environmental conditions breeds.

Библиографический список

1. Сурхаев Г. А., Сурхаева Г. М. Особенности вегетативного лесовосстановления защитных древостоев *Robinia pseudoacacia* L. на Терско-Кумских песках. Научно-агрономический журнал. 2025. № 1. С. 19-27.

2. Li Q., Zhao M., Wang N., Liu S., Wang J., Zhang W., Du N. Water use strategies and drought intensity define the relative contributions of hydraulic failure and carbohydrate depletion during seedling mortality. Plant Physiology and Biochemistry. 2020. № 153. Pp. 106-118.

3. Wu X., Zhang Z., Huang M., Yang F., Yan X., Guo T. Variable Responses of Plant Water Use to Soil Water Availability in *Robinia Pseudoacacia* under Prolonged Drought. Forest Science. 2024. № 70 (2). Pp. 89-101.

4. Lu C., Li L., Liu X., Chen M., Wan S., Li G. Salt stress inhibits photosynthesis and destroys chloroplast structure by downregulating chloroplast development–related genes in *Robinia pseudoacacia* seedlings. Plants. 2023. № 12 (6). Art. 1283.

5. Gan H., Chu J., Sun J., Wang Q. High concentration of phosphate treatment increased the tolerance of *Robinia pseudoacacia* roots to salt stress. Plant Cell Reports. 2025. № 44 (3). P. 53.

6. Schwärzel K., Zhang L., Montanarella L., Wang Y., Sun G. How afforestation affects the water cycle in drylands: A process-based comparative analysis. Global change biology. 2020. № 26 (2). Pp. 944-959.

7. Phukan U. J., Jeena G. S., Shukla R. K. WRKY transcription factors: molecular regulation and stress responses in plants. Frontiers in plant science. 2016. № 7. Art. 760.

8. Wang H., Cheng X., Yin D., Chen D., Luo C., Liu H., Huang C. Advances in the research on plant WRKY transcription factors responsive to external stresses. Current issues in molecular biology. 2023. № 45 (4).

9. Wu W., Yang J., Yu N., Li R., Yuan Z., Shi J., Chen J. Evolution of the WRKY Family in Angiosperms and Functional Diversity under Environmental Stress. International Journal of Molecular Sciences. 2024. № 25 (6). Art. 3551.

10. Wu W., Zhu S., Xu L., Zhu L., Wang D., Liu Y., Chen J. Genome-wide identification of the Liriodendron chinense *WRKY* gene family and its diverse roles in response to multiple abiotic stress. BMC Plant Biology. 2022. № 22 (1). Art. 25.

11. Khoso M. A., Hussain A., Ritonga F. N., Ali Q., Channa M. M., Alshegaihi R. M., Manghwar H. WRKY transcription factors (TFs): Molecular switches to regulate drought, temperature, and salinity stresses in plants. Frontiers in plant science. 2022. №13. Art. 1039329.

12. Chen F., Hu Y., Vannozzi A., Wu K., Cai H., Qin Y., Zhang L. The WRKY transcription factor family in model plants and crops. Critical Reviews in Plant Sciences. 2017. № 36. Pp. 311-335.

13. Eulgem T., Rushton P. J., Robatzek S., Somssich I. E. The WRKY superfamily of plant transcription factors. Trends in plant science. 2000. № 5 (5). Pp. 199-206.

14. Ciolkowski I., Wanke D., Birkenbihl R. P., Somssich I. E. Studies on DNA-binding selectivity of WRKY transcription factors lend structural clues into WRKY-domain function. Plant molecular biology. 2008. № 68. Pp. 81-92.

15. Banerjee A., Roychoudhury A. WRKY proteins: signaling and regulation of expression during abiotic stress responses. The Scientific World Journal. 2015. № 1. Art. 807560.

16. Chen X., Li C., Wang H., Guo Z. WRKY transcription factors: evolution, binding, and action. Phytopathology Research. 2019. № 1 (1). Pp. 1-15.

17. Rinerson C. I., Rabara R. C., Tripathi P., Shen Q. J., Rushton P. J. The evolution of WRKY transcription factors. 2015. BMC plant biology. № 15. Pp. 1-18.

18. Vishnyakov S. A., Krylov P. A. Genome-wide identification of WRKY transcription factors and their target genes associated with drought and salt stress tolerance in *Robinia pseudoacacia* L. Plant Physiology. 2025. № 15 (3). Pp. 5597-5603.

19. Wang Z., Zhang X., Lei W., Zhu H., Wu S., Liu B., Ru D. Chromosome-level genome assembly and population genomics of *Robinia pseudoacacia* reveal the genetic basis for its wide cultivation. Communications Biology. 2023. № 6 (1). Art. 797.

20. Chen C., Wu Y., Li J., Wang X., Zeng Z., Xu J., Xia R. TBtools-II: A “one for all, all for one” bioinformatics platform for biological big-data mining. Molecular plant. 2023. № 16 (11). Pp. 1733-1742.

21. Wang Y., Tang H., DeBarry J. D., Tan X., Li J., Wang X., Paterson A. H. MCScanX: a toolkit for detection and evolutionary analysis of gene synteny and collinearity. Nucleic acids research. 2012. № 40 (7). Pp. e49-e49.

22. Krzywinski M., Schein J., Birol I., Connors J., Gascoyne R., Horsman D., Jones S. J., Marra, M. A. Circos: an information aesthetic for comparative genomics. Genome research. 2009. № 19 (9). Pp. 1639-1645.

23. Lynch M., Conery J. S. The evolutionary fate and consequences of duplicate genes. Science. 2000. № 290 (5494). Pp. 1151-1155.

24. Rensing S. A. Gene duplication as a driver of plant morphogenetic evolution. Current opinion in plant biology. 2014. № 17. Pp. 43-48.

25. Wang J., Chitsaz F., Derbyshire M. K., Gonzales N. R., Gwadz M., Lu S., Marchler-Bauer A. The conserved domain database in 2023. Nucleic acids research. 2023. № 51 (D1). Pp. D384-D388.

26. Qiao X., Li Q., Yin H., Qi K., Li L., Wang R., Paterson A. H. Gene duplication and evolution in recurring polyploidization-diploidization cycles in plants. Genome biology. 2019. № 20 (1). Art. 38.
27. Qian W., Liao B. Y., Chang A. Y. F., Zhang J. Maintenance of duplicate genes and their functional redundancy by reduced expression. Trends in Genetics. 2010. № 26 (10). Pp. 425-430.
28. Li P., Li X., Jiang M. CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of WRKY3 and WRKY4 function decreases salt and Me-JA stress tolerance in Arabidopsis thaliana. Molecular Biology Reports. 2021. № 48 (8). Pp. 5821-5832.
29. DeLuna A., Springer M., Kirschner M. W., Kishony R. Need-based up-regulation of protein levels in response to deletion of their duplicate genes. PLoS biology. 2010. № 8 (3). Art. e1000347.

References

1. Surkhaev G. A., Surkhaeva G. M. Features of vegetative reforestation of protective Robinia pseudoacacia L. stands on the Tersko-Kumsk sands. Scientific Agronomy Journal. 2025. № 1 (128). Pp. 19-27.
2. Li Q., Zhao M., Wang N., Liu S., Wang J., Zhang W., Du N. Water use strategies and drought intensity define the relative contributions of hydraulic failure and carbohydrate depletion during seedling mortality. Plant Physiology and Biochemistry. 2020. № 153. Pp. 106-118.
3. Wu X., Zhang Z., Huang M., Yang F., Yan X., Guo T. Variable Responses of Plant Water Use to Soil Water Availability in *Robinia Pseudoacacia* under Prolonged Drought. Forest Science. 2024. № 70 (2). Pp. 89-101.
4. Lu C., Li L., Liu X., Chen M., Wan S., Li G. Salt stress inhibits photosynthesis and destroys chloroplast structure by downregulating chloroplast development–related genes in *Robinia pseudoacacia* seedlings. Plants. 2023. № 12 (6). Art. 1283.
5. Gan H., Chu J., Sun J., Wang Q. High concentration of phosphate treatment increased the tolerance of *Robinia pseudoacacia* roots to salt stress. Plant Cell Reports. 2025. № 44 (3). P. 53.
6. Schwärzel K., Zhang L., Montanarella L., Wang Y., Sun G. How afforestation affects the water cycle in drylands: A process-based comparative analysis. Global change biology. 2020. № 26 (2). Pp. 944-959.
7. Phukan U. J., Jeena G. S., Shukla R. K. WRKY transcription factors: molecular regulation and stress responses in plants. Frontiers in plant science. 2016. № 7. Art. 760.
8. Wang H., Cheng X., Yin D., Chen D., Luo C., Liu H., Huang C. Advances in the research on plant WRKY transcription factors responsive to external stresses. Current issues in molecular biology. 2023. № 45 (4).
9. Wu W., Yang J., Yu N., Li R., Yuan Z., Shi J., Chen J. Evolution of the WRKY Family in Angiosperms and Functional Diversity under Environmental Stress. International Journal of Molecular Sciences. 2024. № 25 (6). Art. 3551.
10. Wu W., Zhu S., Xu L., Zhu L., Wang D., Liu Y., Chen J. Genome-wide identification of the Liriodendron chinense *WRKY* gene family and its diverse roles in response to multiple abiotic stress. BMC Plant Biology. 2022. № 22 (1). Art. 25.
11. Khoso M. A., Hussain A., Ritonga F. N., Ali Q., Channa M. M., Alshegaihi R. M., Manghwar H. WRKY transcription factors (TFs): Molecular switches to regulate drought, temperature, and salinity stresses in plants. Frontiers in plant science. 2022. №13. Art. 1039329.
12. Chen F., Hu Y., Vannozzi A., Wu K., Cai H., Qin Y., Zhang L. The WRKY transcription factor family in model plants and crops. Critical Reviews in Plant Sciences. 2017. № 36. Pp. 311-335.
13. Eulgem T., Rushton P. J., Robatzek S., Somssich I. E. The WRKY superfamily of plant transcription factors. Trends in plant science. 2000. № 5 (5). Pp. 199-206.
14. Ciolkowski I., Wanke D., Birkenbihl R. P., Somssich I. E. Studies on DNA-binding selectivity of WRKY transcription factors lend structural clues into WRKY-domain function. Plant molecular biology. 2008. № 68. Pp. 81-92.
15. Banerjee A., Roychoudhury A. WRKY proteins: signaling and regulation of expression during abiotic stress responses. The Scientific World Journal. 2015. № 1. Art. 807560.
16. Chen X., Li C., Wang H., Guo Z. WRKY transcription factors: evolution, binding, and action. Phytopathology Research. 2019. № 1 (1). Pp. 1-15.
17. Rinerson C. I., Rabara R. C., Tripathi P., Shen Q. J., Rushton P. J. The evolution of WRKY transcription factors. 2015. BMC plant biology. № 15. Pp. 1-18.
18. Vishnyakov S. A., Krylov P. A. Genome-wide identification of WRKY transcription factors and their target genes associated with drought and salt stress tolerance in *Robinia pseudoacacia* L. Plant Physiology. 2025. № 15 (3). Pp. 5597-5603.
19. Wang Z., Zhang X., Lei W., Zhu H., Wu S., Liu B., Ru D. Chromosome-level genome assembly and population genomics of *Robinia pseudoacacia* reveal the genetic basis for its wide cultivation. Communications Biology. 2023. № 6 (1). Art. 797.
20. Chen C., Wu Y., Li J., Wang X., Zeng Z., Xu J., Xia R. TBtools-II: A “one for all, all for one” bioinformatics platform for biological big-data mining. Molecular plant. 2023. № 16 (11). Pp. 1733-1742.
21. Wang Y., Tang H., DeBarry J. D., Tan X., Li J., Wang X., Paterson A. H. MCScanX: a toolkit for detection and evolutionary analysis of gene synteny and collinearity. Nucleic acids research. 2012. № 40 (7). Pp. e49-e49.
22. Krzywinski M., Schein J., Birol I., Connors J., Gascoyne R., Horsman D., Jones S. J., Marra, M. A. Circos: an information aesthetic for comparative genomics. Genome research. 2009. № 19 (9). Pp. 1639-1645.
23. Lynch M., Conery J. S. The evolutionary fate and consequences of duplicate genes. Science. 2000. № 290 (5494). Pp. 1151-1155.
24. Rensing S. A. Gene duplication as a driver of plant morphogenetic evolution. Current opinion in plant biology. 2014. № 17. Pp. 43-48.
25. Wang J., Chitsaz F., Derbyshire M. K., Gonzales N. R., Gwadz M., Lu S., Marchler-Bauer A. The conserved domain database in 2023. Nucleic acids research. 2023. № 51 (D1). Pp. D384-D388.
26. Qiao X., Li Q., Yin H., Qi K., Li L., Wang R., Paterson A. H. Gene duplication and evolution in recurring polyploidization-diploidization cycles in plants. Genome biology. 2019. № 20 (1). Art. 38.
27. Qian W., Liao B. Y., Chang A. Y. F., Zhang J. Maintenance of duplicate genes and their functional redundancy by reduced expression. Trends in Genetics. 2010. № 26 (10). Pp. 425-430.
28. Li P., Li X., Jiang M. CRISPR/Cas9-mediated mutagenesis of WRKY3 and WRKY4 function decreases salt and Me-JA stress tolerance in Arabidopsis thaliana. Molecular Biology Reports. 2021. № 48 (8). Pp. 5821-5832.
29. DeLuna A., Springer M., Kirschner M. W., Kishony R. Need-based up-regulation of protein levels in response to deletion of their duplicate genes. PLoS biology. 2010. № 8 (3). Art. e1000347.

Информация об авторах

Вишняков Сергей Александрович, аспирант, инженер-исследователь лаборатории геномных и постгеномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97). ORCID: 0009-0000-5824-5367, e-mail: vishnyakov-s@vfanc.ru

Крылов Павел Андреевич, к.б.н, ведущий научный сотрудник с и.о зав. лабораторией геномных и постгеномных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97). ORCID: 0000-0001-9587-5886, e-mail: krylov-p@vfanc.ru

Authors' Information

Vishnyakov Sergey Aleksandrovich, Graduate student, Research Engineer, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0009-0000-5824-5367, e-mail: vishnyakov-s@vfanc.ru

Krylov Pavel Andreevich, PhD (Biol. Sci), leading Research Scientist, head for laboratory of genomic and postgenomic technologies, FSBSI "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, pr-t Universitetskij, 97). ORCID: 0000-0001-9587-5886, e-mail: krylov-p@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-33

THE STUDY OF THE GRAPE VARIETIES PROLIFERATIVE POTENTIAL AND THE ANTIBIOTICS EFFECT ON THE PROLIFERATIVE PROCESSES DURING THE *IN VITRO* PROPAGATION

[1,2]Adymkhanov L. K., [1,2]Batukaev A. A., [3]Fomin S. D.

[1]Chechen research institute of agriculture
Grozny, Russian Federation
[2]Chechen state university named after A. A. Kadyrov
Grozny, Russian Federation
[3]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: adymhanov1964@mail.ru

Received 29.05.2026 Submitted: 11.07.2026

Summary

The article presents research on the study of the proliferative potential of various grape varieties (table and technical use) on hormonal nutrient media and optimized the composition of the nutrient media.

Abstract

Introduction. Relevance viticulture occupies a special place in the agricultural production of the Russian Federation. much attention is currently being paid to the restoration and development of the viticulture industry, including nursery production. Micropropagation is a promising method of vegetative plant propagation, which accelerates the propagation process and produces genetically uniform plants free from phytopathogens, viruses, and other infections. The use of this method helps solve the problem of insufficient domestic production of high-quality, healthy seedlings. Research objective: to study an effective regeneration system for grape varieties at the stage of introduction into in vitro cultivation, taking into account our experience and data from other researchers; to test antibiotics in vitro. **Research objective:** to develop a technology for producing healthy grape planting material (in vitro). Research subject: apical meristems, explants, grape varieties, nutrient media, and growth regulators. **Materials and methods:** intensively growing green shoots of grapes, harvested from vegetating vines, were used as the initial explants for in vitro culture. research and work on micro clonal propagation of grapes were carried out in specially equipped rooms (in vitro laboratory), in aseptic conditions of a laminar flow hood. Laboratory studies were carried out in accordance with guidelines for tissue and organ culture, clonal micropropagation [2] and biotechnology [6]. The objective of the research was to study the proliferation potential of different grape varieties on hormonal nutrient media, as well as the effect of chemotherapy in vitro using Cefotaxime (in concentrations of 50 mg / l; 100 mg / l; 200 mg / l; 300 mg / l), Gentamicin (in concentrations of 0.01 ml / l; 0.05 ml / l; 0.1 ml / l) and Melafen (in concentrations of 10-7 mg / l – 10-10 mg / l). Results and conclusions. This article presents the results of experiments investigating the regenerative activity of apical meristems in the grape varieties Podarok Magaracha, Preobrazhenie, Avgustin, Vostorg, Nadezhda AZOS, Yubiley Platova, and Rkatsiteli. The addition of antibiotics to the nutrient medium has a positive effect on meristem regeneration. Higher concentrations of Cefotaxime and Gentamicin significantly increased shoot formation during the next stage of proliferation.

Keywords: *grape varieties, proliferation, grape propagation, in vitro, plant growth regulators, grape seedlings.*

Citation. Adymkhanov L. K., Batukaev A. A., Fomin S. D. The study of the grape varieties proliferative potential and the antibiotics effect on the proliferative processes during the *in vitro* propagation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 295-303 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-33.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, execution, and analysis of this study. The authors of this article have reviewed and approved the final version.
Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 634.8.034

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЛИФЕРАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СОРТОВ ВИНОГРАДА И ВЛИЯНИЕ АНТИБИОТИКОВ НА ПРОЛИФЕРАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ЭТАПЕ РАЗМНОЖЕНИЯ *IN VITRO*

[1,2]Адымханов Л. К., *научный сотрудник, старший преподаватель*
[1,2]Батукаев А. А., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник*
[3]Фомин С. Д., *доктор технических наук, доцент*

[1]ФГНУ «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»
г. Грозный, Чеченская Республика, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова»
г. Грозный, Чеченская Республика, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках тематики НИР 2025…2027 гг. «Фундаментальные аспекты биотехнологических методов производства оздоровленного посадочного материала винограда». Тема № FNME-2026-0002.

Актуальность. Виноградарство занимает особое место в агропромышленном производстве Российской Федерации. В настоящее время уделяется большое внимание восстановлению и развитию отрасли виноградарства, в том числе питомниководства. Микроклональное размножение – перспективный способ вегетативного размножения растений, который позволяет ускорить процесс размножения и получить генетически однородные растения, оздоровленные от фитопатогенов, вирусов и других инфекций. Применение этого метода позволяет решить проблему недостаточного объема собственного производства качественных оздоровленных саженцев. **Цель исследований:** изучение эффективной регенерационной системы для сортов винограда на этапе введения в культуру *in vitro* с учетом нашего опыта и данных других исследователей; апробирование в культуре *in vitro* антибиотиков. **Объект исследований:** технология производства оздоровленного посадочного материала винограда (*in vitro*). Предмет исследований. Апикальные меристемы, экспланты, сорта винограда, питательные среды, регуляторы роста. **Материалы и методы.** В качестве исходных эксплантов в культуре *in vitro* использовали интенсивно растущие зеленые побеги винограда, заготовленные с вегетирующих кустов. Исследования и работы по микроклональному размножению винограда проводили в специально оборудованных помещениях (лаборатория *in vitro*), в асептических условиях ламинар-бокса. Лабораторные исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по культуре тканей и органов, клональному микроразмножению [2] и биотехнологии [6]. В задачу исследований входило изучение пролиферационного потенциала различных сортов винограда на гормональных питательных средах, а также действие хемотерапии в условиях *in vitro* с помощью Цефотаксима (в концентрациях 50 мг/л, 100 мг/л, 200 мг/л, 300 мг/л), Гентамицина (в концентрациях 0,01 мл/л, 0,05 мл/л, 0,1 мл/л) и Мелафена (в концентрациях 10^{-7} мг/л – 10^{-10} мг/л). **Результаты и выводы.** В статье приведены результаты опытов по исследованию регенерационной активности апикальных меристем у сортов винограда Подарок Магарача, Преображение, Августин, Восторг, Надежда АЗОС, Юбилей Платова, Ркацители. Введение в состав питательной среды антибиотиков оказывает положительное действие на регенерацию меристем. При повышенных концентрациях Цефотаксима и Гентамицина значительно увеличилось образование побегов на следующем этапе пролиферации.

Ключевые слова: *сорта винограда, пролиферация, размножение винограда, in vitro, регуляторы роста растений, саженцы винограда*.

Цитирование. Адымханов Л. К., Батукаев А. А., Фомин С. Д. Изучение пролиферационного потенциала сортов винограда и влияние антибиотиков на пролиферативные процессы на этапе размножения *in vitro*. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 295-303. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-33.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современные стандарты на посадочный материал требуют его оздоровления от вирусных инфекций. Все это влечет включение в технологические схемы оздоровления и размножения посадочного материала новых эффективных приемов получения оздоровленного материала, а также ускоренного его размножения [1, 3]. В связи с этим все большее значение приобретает разработка высокоэффективных технологий производства оздоровленного посадочного материала винограда с помощью клонального микроразмножения. Несмотря на преимущества, внедрение этих технологий в практику сдерживается некоторыми нерешенными вопросами. Это сортовые особенности реакций на состав питательных сред, потери на этапе введения в стерильную культуру из-за контаминации и гибель растений *in vitro* при переносе *ex vitro* [13]. Данный метод является наиболее приемлемым способом получения большого объема, сертифицированного безвирусного посадочного материала в короткие сроки [8]. На сегодняшний день методы микроразмножения разработаны более чем для 800 видов растений. Основная цель проводимых исследований – создание протоколов быстрого клонального микроразмножения для коммерчески важных сортов и видов растений. Многие исследователи отмечают сортспецифическую реакцию растений на различные приемы и методы микроразмножения, поэтому необходим сортоориентированный подход [2, 8].

Некоторые исследователи [2, 4], работавшие с культурой *in vitro*, указывают на значительные видовые и даже сортовые различия растений по требованиям к органическому и неорганическому составу питательной среды, а также к другим факторам культивирования, которые требуют индивидуального подбора приёмов для эффективного роста и развития растений. Получение здорового посадочного материала винограда – это наукоёмкая задача, которая требует знаний как в области виноградарства, так и в области защиты растений [15].

Методы *in vitro* открыли новые области исследований, позволяющих преодолеть проблемы традиционных методов и обеспечивающих быстрое размножение растений в промышленном масштабе. Растения, полученные методом микроклонального размножения, имеют ряд преимуществ перед привитыми. Они более долговечны, быстро развиваются и зацветают, формируют идеальный габитус куста [5].

Метод получения свободных от вирусов растений основывается на том, что по направлению к верхушке побега содержание вирусов в больном растении снижается. Апикальные меристемы используются для оздоровления растений от вирусов [7, 10].

Степень приживаемости апикальных меристем на этапе введения в культуру *in vitro* определяется группой, к которой относятся сорта (столовой и технической): у группы столовых сортов (Августин, Восторг, Мускат итальянский, Ранний Магарача) доля жизнеспособных эксплантов была в среднем по сортам на уровне 50,0 %, а у технических сортов (Подарок Магарача, Виорика, Ркацители) – 40,0-45,0 % [1, 2].

Установлено, что чем меньше величина экспланта, тем выше вероятность получения абсолютно здорового материала. Однако чем меньше эксплант, тем тяжелее у него проходят регенерационные процессы [11, 12].

Дополнительно к культуре апикальных меристем разработана хемотерапия с применением салициловой кислоты. Разработан способ деконтаминации растений от микоплазменной инфекции, который включает введение в питательную среду антибиотика Цефотаксима в концентрации от 50 до 450 мг/л в зависимости от степени инфицирования маточных растений.

Одним из способов быстрого размножения сортов плодовых и ягодных растений является использование культуры изолированных тканей *in vitro*. Для эффективного размножения *in vitro* необходим подбор оптимальной концентрации фитогормонов [9]. При введении в культуру новых сортов винограда также необходимо учитывать их генотипические особенности, связанные с потенциальными возможностями растения [14].

Современные стандарты на посадочный материал требуют его оздоровления от вирусной и микоплазменной инфекций, паразитических нематод, клещей и других вредителей, и болезней. Все это влечет включение в технологические схемы оздоровления и размножения посадочного материала новых эффективных приемов получения свободного от вредителей и болезней материала, а также ускоренного его размножения [2].

Методика, место и условия проведения исследований.

Опыты и наблюдения проводили в соответствии с тематическими планами лаборатории виноградарства ФГБНУ «Чеченский НИИСХ».

Объект исследований: технология производства оздоровленного посадочного материала винограда (*in vitro*). Предмет исследований: апикальные меристемы, экспланты, сорта винограда, питательные среды, регуляторы роста.

Исходный растительный материал различных сортов винограда для культивирования был взят с интактных растений винограда, выращиваемых на опытно-производственном участке Чеченского НИИСХ. В качестве исходного экспланта в культуре *in vitro* использовали интенсивно растущие зеленые побеги винограда, заготовленные с вегетирующих кустов. Исследования и работы по микроклональному размножению винограда проводили в специально оборудованных помещениях (лаборатория *in vitro*) в асептических условиях ламинар-бокса. Лабораторные исследования проводили в соответствии с методическими указаниями по культуре ткани и органов, клональному микроразмножению [2] и биотехнологии [6]. Изучали пролиферационный потенциал различных сортов винограда на гормональных питательных средах, также изучали действие хемотерапии в условиях *in vitro* с помощью Цефотаксима (в концентрациях 50 мг/л, 100 мг/л, 200 мг/л, 300 мг/л), Гентамицина (в концентрациях 0,01 мл/л, 0,05 мл/л, 0,1 мл/л) и Мелафена (в концентрациях 10^{-7} мг/л – 10^{-10} мг/л). Экспериментально установлены эффективные концентрации препаратов для меристем винограда (сорт Августин) разного размера (0,1-0,2 мм; 0,2-0,3 мм; 0,3-0,5 мм). Наблюдения вели за следующими факторами, как: отсутствие развития экспланта винограда, грибная инфекция, бактериальная инфекция, сохранность меристем, образование побегов.

Результаты исследований. Изучали пролиферационный потенциал различных сортов винограда на гормональных питательных средах. На этапе введения в культуру *in vitro* через 25-30 дней после высадки, хорошо развитые меристемы или конгломераты почек пересаживали в колбы (объемом на 200 мл) для пролиферации почек на основе конгломератов и элонгации побегов. Так как основная задача данного этапа получение как можно большего числа хорошо развитых побегов для последующего укоренения, изучаемые сорта сравнивали по побегообразующей способности (таблица 1).

Таблица 1 – Пролиферационная активность меристем разных сортов винограда в культуре *in vitro* (МС, содержащая 1,5 мг/л БАП + 0,01 мг/л НУК)
Table 1 – Proliferative activity of meristems of different grape varieties in *in vitro* culture (MS containing 1.5 mg/L BAP + 0.01 mg/L NUC)

Сорт / Variety	Число конгломератов/образовалось побегов, шт.					Общее число конгломератов/ побегов, шт. / Number of conglomerates/shoots formed, units / Total number of conglomerates/ shoots, units	$К_п$ / Ср
	1 пассаж / passage 1	2 пассаж / passage 2	3 пассаж / passage 3	4 пассаж / passage 4	5 пассаж / passage 5		
Мускат ранний / Muskat rannii	7/2	8/3	8/8	5/6	6/8	34/27	0,79
Кишмиш Лучистый / Kishmish Luchisty	10/5	10/12	10/18	8/12	8/8	46/55	1,20
Барт / Bart	7/6	8/8	10/16	9/12	7/10	41/52	1,27
Маринка / Marinka	10/7	11/11	10/18	7/13	8/14	46/63	1,37
Молдова / Moldova	12/10	12/22	16/28	16/21	11/12	66/93	1,41
Фламинго / Flamingo	14/14	12/22	15/28	16/21	12/14	69/99	1,43
Подарок Магарача / Podarok Magaracha	12/14	12/23	14/27	10/21	12/15	60/100	1,66
Преображение / Preobrazhenie	12/7	11/14	10/24	10/18	5/12	48/75	1,56
Августин / Avgustin	11/7	10/14	10/21	7/16	6/14	44/72	1,60
Восторг / Vostorg	10/12	11/26	14/24	17/22	10/15	62/99	1,60
Надежда АЗОС / Nadezhda AZOS	12/12	10/22	14/27	12/20	8/12	56/93	1,66
Юбилей Платова / Yubiley Platova	10/16	10/24	15/22	12/18	8/13	55/93	1,69
Ркацители / Rkatsiteli	12/15	10/26	14/29	14/22	10/15	60/107	1,78

Примечание: Кп – коэффициент пролиферации (отношение общего числа побегов к общему числу конгломератов).
Note: Ср is the proliferation coefficient (the ratio of the total number of shoots to the total number of conglomerates).

Наилучшей побегообразующей способностью обладали сорта: Подарок Магарача; Преображение; Августин; Восторг; Надежда АЗОС; Юбилей Платова; Ркацители. У этих сортов в течение 5 пассажей образовалось от 72 до 100 шт. побегов (1,78 ≤ Кп ≥ 1,51) (рисунок 1а). В культивационных сосудах наблюдалось образование плотного когломерата микропобегов, который трудно было разделить на отдельные черенки. Средние результаты пролиферации отмечены у сортов Кишмиш Лучистый; Барт; Маринка; Молдова; Фламинго от 55 до 99 шт. побегов (1,43 ≤ Кп ≥ 1,20) (рисунок 1 б). При этом наибольшее число побегов у этих сортов отмечали в 3 пассаже (от 18 до 29 шт.). Длина основной части микропобегов через 15 суток составляла 1,5-2 см.

В 4 и 5 пассажах наблюдалось снижение побегообразования на 18-25 % и 38-45 %, соответственно. В данных вариантах образовывалось от 12 до 22 шт. (4 пассаж) и от 8 до 15 шт. (5 пассаж). Конгломераты после срезок побегов, в 4 и 5 пассажах, образовывали больше коротких и тонких или толстых и плотных побегов с мелкими листьями, на которых в дальнейшем медленнее формировались корни. В связи с необходимостью очистки конгломератов от образовавшегося на их нижних зонах каллуса в виде «пятки» и некротических зон, что сопровождалось существенным увеличение трудозатрат и снижением эффективности побегообразования, для большинства сортов не проводили более 4 пассажей (рисунок 1в). Меньше всего побегов на этапе пролиферации образовалось у сорта Мускат ранний: всего 27 побегов в течение пяти пассажей (Кп = 0,79) (рисунок 1 г).

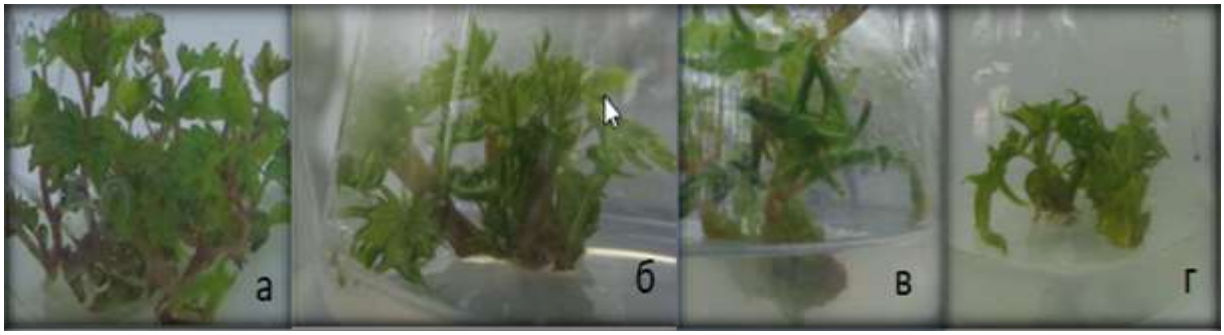


Рисунок 1 – Образование побегов: а) у сорта винограда Преображение с повышенной пролиферационной активностью (1,78 ≤ Кп ≥ 1,56); б) у сорта винограда Фламинго со средней пролиферационной активностью (1,43 ≤ Кп ≥ 1,20); в) конгломераты с побегами винограда в 4 и 5 пассажах с образовавшимся каллусом; г) у сорта винограда Мускат ранний с низкой пролиферационной активностью (Кп = 0,79)
Figure 1 – Shoot formation: a) in the Preobrazhenie grape variety with increased proliferative activity (1.78 ≤ Cp ≥ 1.56); b) in the Flamingo grape variety with medium proliferative activity (1.43 ≤ Cp ≥ 1.20); c) conglomerates with grape shoots in 4 and 5 passages with formed callus; d) in the Muscat Early grape variety with low proliferative activity (Cp = 0.79)

Изучение влияние антибиотиков на пролиферативные процессы винограда на этапе микроразмножения *in vitro*. При клональном микроразмножении растений очень часто возникает опасность проявления внутренней бактериальной инфекции. Источниками заражения могут являться инфицированные экспланты. Для освобождения от них используется хемотерапия, заключающаяся в добавлении в питательную среду антимикробных препататов, в том числе антибиотиков. Использование антибиотиков основано в подавлении развития патогенной микрофлоры [7].

В наши исследования были включены антибиотики Цефотаксим и Гентамицин. Введение в состав питательной среды антибиотиков Цефотаксима или Гентамицина, а также Мелафена оказало положительное влияние на регенерацию меристем на этапе ввода и последующих этапах пролиферации и ризогенеза, способствуя оздоровлению растений. В контроле образовывались единичные побеги. При повышенных концентрациях Цефотаксима и Гентамицина значительно увеличилось образование побегов на следующем этапе пролиферации. Наибольшее число побегов было получено в варианте с концентрацией Цефотаксима – 200,0 мг/л и 300 мг/л (80 % и 90 %, соответственно); Гентамицина – 0,05 мл/л и 0,1 мл/л (70 % и 80 %, соответственно).

Таблица 2 – Влияние антибиотиков на пролиферативные процессы винограда на этапе микроразмножения (сорт Августин; n = 10; 45-е сутки культивирования)
Table 2 – Effect of antibiotics on grape proliferative processes at the micropropagation stage (Augustin variety; n = 10; 45th day of cultivation)

Показатели развития меристем / Meristem development indicators	Цефотаксим, мг/л / Cefotaxime, mg/l				
	0	50	100	200	300
Отсутствие развития, шт., % / Lack of development, units, %	4/40	3/30	3/30	2/20	1/10
Грибная инфекция, шт., % / Fungal infection, unit, %	6/60	2/20	2/20	2/20	1/10
Бактериальная инфекция, шт., % / Bacterial infection, units, %	8/80	0/0	0/0	0/0	0/0
Сохранилось меристем, шт., % / Number of meristems preserved, units, %	5/50	7/70	7/0	8/0	9/0
Образовалось побегов, шт., % / Number of shoots, pcs., %	2/20	7/70	7/70	8/80	9/90
	Гентамицин, мл/л / Gentamicin, ml/l				
	0	0,01	0,05	0,1	-
Отсутствие развития, шт., % / Lack of development, units, %	4/40	3/30	3/30	2/20	-
Грибная инфекция, шт., % / Fungal infection, unit, %	6/60	2/20	2/20	2/20	-
Бактериальная инфекция, шт., % / Bacterial infection, units, %	8/80	0/0	0/0	0/0	-
Сохранилось меристем, шт., % / Number of meristems preserved, units, %	5/50	7/70	7/70	8/80	-
Образовалось побегов, шт., % / Number of shoots, pcs., %	2/20	7/70	7/70	8/80	-
	Мелафен, мг/л / Melafen, mg/l				
	0	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
Отсутствие развития, шт., % / Lack of development, units, %	4/40	3/30	3/30	2/20	5/50
Грибная инфекция, шт., % / Fungal infection, unit, %	6/60	0/0	0/0	0/0	0/0
Бактериальная инфекция, шт., % / Bacterial infection, units, %	8/80	0/0	0/0	0/0	0/0
Сохранилось меристем, шт., % / Number of meristems preserved, units, %	5/50	8/80	8/80	8/80	5/50
Образовалось побегов, шт., % / Number of shoots formed, pcs., %	2/20	8/80	8/80	8/80	5/50

Мелафен во всех концентрациях (кроме 10^{-10} мг/л) оказал положительное влияние на образование побегов. Отсутствие образования побегов при разведении Мелафена 10^{-10} мг/л можно объяснить гибелью большого числа меристем, высаженных на пролиферацию, из-за отсутствия развития. Лучший результат получен при концентрации Мелафена 10^{-7} мг/л; 10^{-8} мг/л; 10^{-9} мг/л, что можно объяснить увеличением регенерационной активности за счет продленного влияния Мелафена с предыдущего пассажа. Одновременно следует отметить отсутствие как бактериальной, так и грибной инфекции при использовании Мелафена. В целом отмечено, что антибиотики Цефотаксим и Гентамицин позволили улучшить приживаемость меристем в 1,2-1,3 раза в сравнении с контролем. Лучшие результаты получены в варианте с препаратом Мелафен. При культивировании меристем на питательной среде в течение 45 суток, приживаемость меристем превосходила контроль в 1,42-1,48 раза; сохраняя преимущества препарата Мелафен по всем показателям роста меристем всех размеров при всех изучаемых концентрациях 10^{-7}-10^{-9} мг/л.

К тому же, в подтверждение данных других исследователей [10], при использовании Мелафена улучшаются ростовые процессы растений. В результате проведенных исследований установлено, что для освобождения от внутренних бактериальных инфекций целесообразно проведение антибактериальной хемотерапии в условиях in vitro с помощью Цефотаксима, Гентамицина, Мелафена. Добавление их в питательную среду для культивиро-

вания позволяет увеличить, в сравнении с контролем, приживаемость меристем винограда в 1,2-1,3 раза в присутствии Гентамицина или Цефотаксима и в 1,42-1,48 раза в присутствии Мелафена. Лучшие результаты получены при использовании Мелафена. С учетом низкой себестоимости данного препарата и высоким оказываемым эффектом, его применение целесообразно и экономически обосновано.

Таблица 3 – Хемотерапия антибактериальными препаратами на этапе введения меристем винограда сорта Августин в культуру *in vitro* (n = 100)
Table 3 – Chemotherapy with antibacterial drugs at the stage of introducing Augustin grape meristems into *in vitro* culture (n = 100)

Антибактериальный препарат / Antibacterial drug		Размеры меристем / Meristem sizes			Кп / Ср
		0,1-0,2 мм	0,2-0,3 мм	0,3-0,5 мм	
Контроль / Control	0				≤ 1
Цефотаксим / Cefotaxime	50 мг/л / mg/l	x	x		≥ 1.26
	100 мг/л / mg/l	x	x	x	≥ 1.27
	200 мг/л / mg/l			x	≥ 1.31
	300 мг/л / mg/l			x	≥ 1.30
Гентамицин / Gentamicin	0,01 мл/л / ml/l	x	x		≥ 1.21
	0,05 мл/л / ml/l		x	x	≥ 1.22
	0,1 мл/л / ml/l			x	≥ 1.24
Мелафен / Melafen	10^{-7} %	x	x	x	≥ 1.48
	10^{-8} мг/л / mg/l	x	x	x	≥ 1.46
	10^{-9} мг/л / mg/l	x	x	x	≥ 1.48
	10^{-10} мг/л / mg/l	x	x	x	≥ 1.42

Примечание: Кп – коэффициент полярности (отношение доли прижившихся меристем на среде с антибактериальным препаратом к контролю).
Note: Cp is the polarity coefficient (the ratio of the proportion of meristems that have taken root on the medium with the antibacterial agent to the control).

Таким образом, при проведении хемотерапии для повышения эффективности клонального микроразмножения на этапе ведения в культуру *in vitro* целесообразно использовать Цефотаксим в концентрациях 200,0 мг/л и 300 мг/л; Гентамицин – 0,05 мл/л и 0,1 мл/л; стимулятор роста Мелафен в концентрациях 10^{-7} % –10^{-9} %.

Заключение. В результате проведённых исследований установлены особенности регенерационной активности в культуре *in vitro* для перспективных сортов винограда, в том числе: большая часть введенных в культуру in vitro сортов винограда проявляли высокую регенерационную активность на этапах введения меристем, индукции и пролиферации почек и элонгации побегов; лучшие результаты регенерационной активности апикальных меристем получены у сортов Подарок Магарача; Преображение; Августин; Восторг; Надежда АЗОС; Юбилей Платова; Ркацители (1,78 ≤ Кп ≥ 1,56); средние результаты регенерационной активности меристем получены у сортов Кишмиш Лучистый; Барт; Маринка; Молдова; Фламинго (1,43 ≤ Кп ≥ 1,20); самые низкие регенерационные способности in vitro проявил сорт Мускат ранний, самым трудным этапом для него был этап пролиферации побегов (Кп = 0,79).

Введение в состав питательной среды антибиотиков оказывает положительное действие на регенерацию меристем. При повышенных концентрациях Цефотаксима и Гентамицина значительно увеличилось образование побегов на следующем этапе пролиферации. Наибольшее число побегов было получено в варианте с концентрацией Цефотаксима – 200,0 мг/л (80 %) и 300 мг/л (90 %), Гентамицина – 0,05 мл/л (70 %) и 0,1 мл/л (80 %). Приживаемость меристем винограда увеличилась в 1,2-1,3 раза в присутствии Гентамицина или Цефотаксима и 1,42-1,48 раза при применении Мелафена. Таким образом, при проведении хемотерапии для повышения эффективности клонального микроразмножения на этапе введения в культуру in vitro целесообразно использовать Цефотаксим в концентрациях 200,0 мг/л и 300 мг/л; Гентамицин – 0,05 мл/л и 0,1 мл/л; стимулятор роста Мелафен в концентрациях 10^{-7} мг/л – 10^{-9} мг/л.

Conclusion. As the result of the conducted studies, the features of regenerative activity in in vitro culture for promising grape varieties were established, including: most of the grape varieties introduced into in vitro culture showed high regenerative activity at the stages of meristem introduction, induction and proliferation of buds and elongation of shoots; the best results of regenerative activity of apical meristems were obtained in varieties Gift Magaracha; Transformation; Augustine; Rapture; Nadezhda AZOS; Jubilee Platov; Rkatsiteli (1.78 ≤ Cp ≥ 1.56); average results of meristem regenera-

tion activity were obtained in the varieties Kishmish Radiant; Bart; Marinka; Moldova; Flamingo (1.43 ≤ Cp ≥ 1.20); the lowest regenerative abilities in vitro were shown by the Muscat variety early, the most difficult stage for him, there was a stage of shoot proliferation (Cp = 0.79).

The introduction of antibiotics into the nutrient medium has a positive effect on the regeneration of meristems. At higher concentrations of Cefotaxime and Gentamicin, the formation of shoots increased significantly at the next stage of proliferation. The highest number of shoots was obtained in the variant with a concentration of Cefotaxime – 200.0 mg/l (80 %), 300 mg/l (90 %); Gentamicin – 0.05 ml/l (70 %), 0.1 ml/l (80 %). The survival rate of grape meristems increased by 1.2-1.3 times in the presence of Gentamicin or Cefotaxime, and by 1.42-1.48 times in the presence of Melafen. Thus, when conducting chemotherapy to increase the efficiency of clonal micropropagation at the stage of in vitro culture, it is advisable to use Cefotaxime at concentrations of 200.0 mg/L and 300 mg/L; Gentamicin at concentrations of 0.05 ml/L and 0.1 ml/L; and the growth stimulant Melafen at concentrations of 10-7 mg/L and 10-9 mg/L.

Библиографический список

1. Батукаев А. А., Палаева Д. О., Батукаев М. С. Оптимизация основных элементов размножения винограда биотехнологическим методом: монография. Махачкала: Издательство АЛЕФ, 2021. 151 с.
2. Батукаев А. А., Палаева Д. О., Собралиева Э. А. Совершенствование состава питательных сред при микрочеренковании винограда in vitro. Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2018. Т. 18. С. 76-80.
3. Григоренко М. И., Павлова И. А., Сафонова В. М., Лепеха И. С., Сочилов А. А. Научные подходы к созданию маточников подвойных лоз винограда. Субтропическое и декоративное садоводство. 2024. № 91. С. 91-106.
4. Дорошенко Н. П., Пузырнова В. Г. Оздоровление растений от фитоплазм и микоплазм при клональном микроразмножении винограда. Русский виноград. 2018. Т. 8. С. 44-52.
5. Лободина Е. В., Супрун И. И., Тыщенко Е. Л., Беленко Е. А. Влияние сроков отбора эксплантов сирени (syringa vulgaris l.) на жизнеспособность и контаминацию при введении в культуру in vitro. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 61 (1). С. 98-107. http://journalkubansad.ru/pdf/20/01/08.pdf
6. Никонович Т. В. и др. Биотехнология: учебно-методическое пособие. Горки: БГСХА, 2021. 58 с.
7. Пузырнова В. Г., Дорошенко Н. П. Приживаемость и кинетика ростовых процессов различного типа микрочеренков винограда *in vitro*. Русский виноград. 2023. Т. 26. С. 41-48.
8. Сегет О. Л., Супрун И. И., Амосова М. А. Усовершенствование некоторых элементов технологии микроклонального размножения винограда. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 107. С. 139-144.
9. Сегет О. Н. Совершенствование технологии введения и культивирования изолированных тканей растений винограда в условиях in vitro. Вестник КрасГАУ. 2024. № 2. С. 30-32.
10. Павлюченко Н. Г., Колесникова О. И., Зимина Н. И. Возможности использования регулятора роста растений Мелафен в виноградном питомниководстве. Известия НВ АУК. 2024. № 1 (73). С. 115-124.
11. Batukaev A. A., Palaeva D. O., Batukaev M. S., Sobralieva E. A. In vitro reproduction and ex vitro adaptation of complex resistant grape varieties. Advances in Engineering Research. 2018. V. 151. Pp. 895-899.
12. Batukaev A. A., Palaeva D. O., Batukaev M. S. Grapes recovery from viruses during reproduction by biotechnological method. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 954. Art. 012010.
13. Kang C. M., Kim M. J., Hong J. S., Jeong R. D. Management of plant viruses in tissue apple and grapevine: detection and eradication strategies. Plant Pathol J. 2025. No 41 (5). Pp. 545-56.
14. Krasinskaya T., Zmushko A. Morphogenetic potential of grape explants at initiation stage of in vitro culture during the active plant growth and dormancy period. Acta Horticulturae. 2021. № 1324. Pp. 111-115.
15. Motha K., Singh S. K., Singh R. Comparative in vitro propagation of stress tolerant grape (Vitis spp.) rootstocks and assessment of clonal fidelity of plantlets. Indian journal of horticulture. 2017. V. 74. I. 3. Pp. 317-325.

References

1. Batukaev A. A., Palaeva D. O., Batukaev M. S. Optimization of the main elements of grape propagation by the biotechnological method: monograph. Makhachkala: Publishing House ALEF, 2021. 151 p.
2. Batukaev A. A., Palaeva D. O., Sobralieva E. A. Improvement of the composition of nutrient media in micropropagation of grapes in vitro. Scientific Works of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking. 2018. V. 18. Pp. 76-80.
3. Grigorenko M. I., Pavlova I. A., Safonova V. M., Lepekha I. S., Sochilov A. A. Scientific approaches to the creation of mother-stock vines of grapes. Subtropical and ornamental horticulture. 2024. No 91. Pp. 91-106.
4. Doroshenko N. P., Puzyrnova V. G. Improvement of plants from phytoplasms and mycoplasms during the clonal micropropagation of grapes. Russian grapes. 2018. Vol. 8. Pp. 44-52.
5. Lobodina E. V., Suprun I. I., Tyshchenko E. L., Belenko E. A. Influence of the timing of selection of lilac explants (Syringa vulgaris L.) on viability and contamination when introduced into in vitro culture. Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia. 2020. No 61 (1). Pp. 98-107. http://journalkubansad.ru/pdf/20/01/08.pdf
6. Nikonovich T. V. et al. Biotechnology: Educational and Methodological Guide. Gorki: BSAHA, 2021. 58 p.
7. Puzyrnova V. G., Doroshenko N. P. Survival rate and growth process kinetics of different types of microcuttings of grapes in vitro. Russian grapes. 2023. Vol. 26. Pp. 41-48.
8. Seget O. L., Suprun I. I., Amosova M. A. Improvement of Some Elements of the Technology of Microclonal Propagation of Grapes. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023. No 107. Pp. 139-144.
9. Seget O. N. Improvement of the Technology of Introduction and Cultivation of Isolated Grapevine Plant Tissues in Vitro. Proceedings of the KrasSAU. 2024. No 2. Pp. 30-32.

10. Pavlyuchenko N. G., Kolesnikova O. I., Zimina N. I. Possibilities of using the plant growth regulator Melafen in grape nursery. Proceedings of the NV AUC. 2024. No 1 (73). Pp. 115-124.
11. Batukaev A. A., Palaeva D. O., Batukaev M. S., Sobralieva E. A. In vitro reproduction and ex vitro adaptation of complex resistant grape varieties. Advances in Engineering Research. 2018. V. 151. Pp. 895-899.
12. Batukaev A. A., Palaeva D. O., Batukaev M. S. Grapes recovery from viruses during reproduction by biotechnological method. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. V. 954. Art. 012010.
13. Kang C. M., Kim M. J., Hong J. S., Jeong R. D. Management of plant viruses in tissue apple and grapevine: detection and eradication strategies. Plant Pathol J. 2025. No 41 (5). Pp. 545-56.
14. Krasinskaya T., Zmushko A. Morphogenetic potential of grape explants at initiation stage of in vitro culture during the active plant growth and dormancy period. Acta Horticulturae. 2021. № 1324. Pp. 111-115.
15. Motha K., Singh S. K., Singh R. Comparative in vitro propagation of stress tolerant grape (Vitis spp.) rootstocks and assessment of clonal fidelity of plantlets. Indian journal of horticulture. 2017. V. 74. I. 3. Pp. 317-325.

Информация об авторах

Адымханов Лема Кутузович, старший преподаватель, научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова», ФГБНУ «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (Российская Федерация, 364024 г. Грозный, ул. Шерипова, 32), ORCID: 0009-0002-0496-8257, e-mail: adymhanov1964@mail.ru

Батукаев Абдулмалик Абдулхамидович, профессор кафедры, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет имени А. А. Кадырова» (Российская Федерация, 366021, г. Грозный, п. Элиханова, 1), ORCID: 0000-0002-8649-2047, e-mail: batukaevmalik@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7910-9284, e-mail: fsd_58@mail.ru

Authors' Information

Adymkhanov Lema Kutuzovich, Senior Lecturer, Kadyrov Chechen State University, Laboratory Researcher, Chechen Scientific Research Institute of Agriculture, (Russian Federation, 364024, Grozny, Sheripova Str., 32), ORCID: 0009-0002-0496-8257, e-mail: adymhanov1964@mail.ru

Batukaev Abdulmalik Abdulhamidovich, Head of the Laboratory, Chechen Scientific Research Institute of Agriculture, Professor of the Department, Kadyrov Chechen State University (Russian Federation, 366021, Grozny, Elikhanov Str., 1), ORCID: 0000-0002-8649-2047, e-mail: batukaevmalik@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7910-9284, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-34

THE BLACK WALNUT (*JUGLANS NIGRA* L.) GROWING BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL PRINCIPLES USING THE CASSETTE TECHNOLOGY IN THE CONTROLLED ENVIRONMENTAL CONDITIONS

[1]Sapronov V. V., [2]Voronina V. P., [1]Khuzhakhmetova A. Sh., [1]Sapronova D. V.

[1]Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: avfanc@yandex.ru

Received 12.03.2026 Submitted 18.05.2026

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: "Scientific foundations for a comprehensive study of biodiversity and assessment of resource potential, improvement and development of methods for monitoring, conservation, restoration and selection of economically valuable trees and shrubs under conditions of combined action of anthropogenic and natural factors for introduction into forest reclamation complexes of arid territories" (FNFE-2025-0011), Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Summary

A cassette technology for growing black walnut, which is promising for use in artificial plantations in arid regions, has been developed.

Abstract

Introduction. In the Lower Volga region, *Juglans nigra* L. has demonstrated high bioecological potential, which allows for its expanded application in forest reclamation and landscaping. The limited cultivation of this species in Russia's dendrological flora is due to a shortage of planting material. Current cultivation technologies for black walnut are focused on open-ground cultivation, which does not produce planting material of modern quality. **Objects, materials, and methods.** The *Juglans nigra* L. dendrological collections are located at the Kamyshin Arboretum of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences and the Volgograd State Agrarian University. The development of a cassette seedling

cultivation technology was carried out in the greenhouse complex of the Lower Volga Station for Tree Breeding, a branch of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, which utilizes innovative solutions based on the automated MOSA Macchine OrtoFlora Vivaismo green line. The quality of nuts was assessed using the Multipurpose mobile X-RAY. Registration and measurements of seedlings were carried out every ten days according to generally accepted methods in nursery industry. The goal is to develop an agrobiotechnology for cassette cultivation of *Juglans nigra*. **Results and conclusions.** Extensive experience of introducing species of the genus walnut on light chestnut soils in collections of the Volgograd region was analyzed; high adaptive capabilities, as well as taxation and phytocenotic parameters, were identified. An innovative technology for cassette cultivation of black walnut has been developed, including: Preliminary stage (populations are assessed for fruiting quality); Agrotechnological stage; Growing stage. (optimization of microclimatic and taxation parameters). The technology for growing walnuts with a closed root system involves automated lines for packing the substrate, microclimate control, air desiccation of root systems, and crown pruning of the central shoot. The technology used allowed for the annual production of high-quality, standard-sized planting material, at least 60 cm in height, with a root collar diameter of approximately 3.5-3.7 mm. Harvest timing, seed stratification conditions, and pre-planting preparation were substantiated.

Keywords: *tree seedlings cultivation, Juglans nigra L., cassette technology, closed root system, greenhouse microclimate.*

Citation. Sapronov V. V., Voronina V. P., Khuzhakhmetova A. Sh., Sapronova D. V. The black walnut (*Juglans nigra* L.) growing biological and ecological principles using the cassette technology in the controlled environmental conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 303-313 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-34.

Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.

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

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

УДК 630*232.1+634.5

БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ОРЕХА ЧЕРНОГО (*JUGLANS NIGRA* L.) ПО КАССЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

[1]Сапронов В. В., *директор филиала*
[2]Воронина В. П., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]Хужахметова А. Ш., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[1]Сапронова Д. В., *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*

[1]ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования выполнены по теме государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН: «Научные основы комплексного исследования биоразнообразия и оценка ресурсного потенциала, совершенствования и развития методов мониторинга, сохранения, восстановления и отбора хозяйственно ценных древесных и кустарниковых растений в условиях комбинированного действия антропогенных и природных факторов для внедрения в лесомелиоративные комплексы аридных территорий» (FNFE-2025-0011), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Актуальность. В Нижнем Поволжье у *Juglans nigra* L. выявлен высокий биоэкологический потенциал, который позволяет расширить ареал его применения в лесомелиоративных и озеленительных насаждениях. Ограниченное культивирование этого вида в дендрофлоре России обусловлено недостатком посадочного материала. Применяемые технологии выращивания ореха черного ориентированы на открытый грунт и не обеспечивают современного качества посадочного материала. **Объекты, материалы и методы.** Дендрологические коллекции *Juglans nigra* L. Камышинского дендрария ФНЦ агроэкологии РАН и Волгоградского ГАУ. Разработка кассетной технологии выращивания сеянцев проводилась в тепличном комплексе Нижневолжской станции по селекции древесных пород – филиала ФНЦ агроэкологии РАН, предусматривающей инновационные решения на базе автоматизированной линии «MOSA Macchine OrtoFlora Vivaismo green». Качество орехов оценивалось с использованием Multi-purpose mobile X-RAY. Учет и промеры сеянцев проводили каждую де-

каду по общепринятым в питомниководстве методикам. **Цель** – разработать агробиотехнологию кассетного выращивания *Juglans nigra.* **Результаты и выводы.** Проанализирован обширный опыт интродукции видов рода орех на светло-каштановых почвах в коллекциях Волгоградской области, выявлены высокие адаптационные возможности, а также таксационные и фитоценотические параметры. Разработана инновационная технология кассетного выращивания ореха черного, включающая: предварительный этап (оценка популяций на качество плодоношения); агротехнологический этап и этап выращивания (оптимизация микроклиматических и таксационных параметров). В технологии выращивания ореха с закрытой корневой системой задействованы автоматизированные линии набивки субстрата, контроля за микроклиматом, воздушная десикация корневых систем, кронирование центрального побега. Применяемая технология позволила в течение года получать высококачественный посадочный материал стандартных размеров, высотой не менее 60 см, диаметром корневой шейки около 3,5-3,7 мм. Обоснованы сроки сбора плодов, условия стратификации семенного материала и предпосевной подготовки.

Ключевые слова: *выращивание сеянцев деревьев, Juglans nigra* L.*, кассетная технология выращивания растений, закрытая корневая система, микроклимат теплиц.*

Цитирование. Сапронов В. В., Воронина В. П., Хужахметова А. Ш., Сапронова Д. В. Биоэкологические основы выращивания ореха черного (*Juglans nigra* L.) по кассетной технологии в контролируемых условиях окружающей среды. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 303-313. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-34.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Современные исследования доказывают возрастающую значимость адаптивных систем насаждений, в контексте устойчивого развития деградированных территорий в малолесных регионах. Российский опыт полезащитного лесоразведения показал высокую эффективность лесных полос как средства мелиорации сельскохозяйственных земель во всем диапазоне физико-географических условий юга Русской равнины и в сопоставимых условиях умеренного пояса [1]. Обогащение дендрофлоры искусственных насаждений на эколого-экспериментальной основе подбора ассортимента направлено на повышение устойчивости и функциональности насаждений в лесорастительных условиях аридных регионов России. Несмотря на успехи интродукционных работ многие ценные виды не нашли широкого применения в агролесомелиорации и озеленении в связи с недостатком посадочного материала, а также необходимостью разработки агроэкологического регламента по предупреждению угрозы риска инвазий [2].

Например, орех черный (*Juglans nigra* L.), интродуцирован с конца XVI века из приатлантических штатов Северной Америки, однако культивируется как многоцелевой вид на незначительной площади (по разным оценкам от 8 до 20 тыс. га) в 14 европейских странах [3, 4]. В этих странах ореховые насаждения хорошо растут на почвах легкого гранулометрического состава (супесь, суглинок с песком). Вид предпочитает богатые гумусом и питательными веществами почвы, с высоким содержанием Ca, Mg, K и умеренной потребностью в N, допустимый уровень pH почвы от 5 до 7,5, оптимальный – от 6 до 7 [4, 5, 6].

Аналитический обзор биоэкологии ореха черного показал, что в естественном ареале это дерево первой величины, высотой более 20 м, растет в смешанных мезофитных лесах, но редко занимает большие площади среди сопутствующих видов: лириодендрон тюльпановый (*Liriodendron tulipifera* L.), ясень американский (*Fraxinus americana* L.), липа американская (*Tilia americana* L.), бук крупнолистный (*Fagus grandifolia* Ehrh.), клен сахарный (*Acer saccharum* Marsh.), дубы (*Quercus* spp.) и гикори (*Carya* spp.). Насаждения с участием только *J. nigra* встречаются редко. Ближе к западной границе ареала *J. nigra* может ограничиваться поймами, где он растет с американским вязом (*Ulmus americana* L.), каркасом западным (*Celtis occidentalis* L.), ясенем пенсильванским (*F. pennsylvanica* Marsh.), кленом ясенелистным (*Acer negundo* L.), или с липой (*Tilia*) и красным дубом (*Q. rubra* L.), а также на нижних склонах и других благоприятных местах. Положительный результат в лесных культурах достигается при совместной посадке черного ореха с азотофиксирующими видами (*Eleagnus angustifolia* L.). Наблюдается прямая зависимость увеличения уровня азота в почве с высотой черного ореха и уменьшением развития травянистой растительности [4].



Рисунок 1 – Цветение и плодоношение ореха черного в условиях Волгограда (Волгоградский ГАУ, 2025 г.)
Figure 1 – Flowering and fruiting of black walnut in Volgograd conditions (Volgograd State Agrarian University, 2025)

Установлен позитивный вклад насаждений ореха черного в накопление органического углерода, общего азота в почве [7], а также аллелопатические свойства вида при культивировании с различными культурами [8, 9]. По оценкам исследователей интродуцент *J. nigra* рассматривается лесоводами как перспективный и ценный вид для лесного хозяйства, агролесоводства и озеленения в современных прогнозируемых условиях изменениях климата [9, 10].

Цель – разработать агробиотехнологию кассетного выращивания *Juglans nigra* L.

Объекты и методы исследований. В соответствии целью необходимо было: изучить опыт интродукции ореха черного в России и за рубежом; выявить лимитирующие факторы, препятствующие для широкого культивирования вида; провести анализ технологий размножения ореха черного для усовершенствования отдельных приемов мобилизации посадочного материала.

Эксперимент по семенному размножению ореха черного в кассетах проведен в теплице Нижневолжской станции по селекции древесных пород (Россия, Волгоградская область, г. Камышин). Массовая заготовка плодов ореха черного проводилась осенью 2022 года в Краснодарском крае, где были отобраны стабильно плодоносящие популяции, которые отличались высокой морозостойкостью. В соответствии с размерами орехов был подобран объем ячеек (275 $см^3$). Ежедекадно проводился учет: появление и количество всходов, их жизненность. Экспериментальные данные по развитию надземной части (высота, диаметр корневой шейки) и корневой системы оценивались на 350 сеянцах по стандартным общепринятым методикам. Результаты наблюдений прошли статистическую обработку в программе MS Excel.

Результаты и обсуждение. Ареалы интродукции ореха черного в России расположены в различных природных и климатических зонах. Деревья ореха произрастают на коллекционных участках, различающихся по количеству осадков (от 200 до 1 000 мм), сумме положительных температур воздуха, общей солнечной радиации (от 2 800 до 5 200 МДж/м²) и среднегодовой температуре воздуха (от -2 до 14 °С). Анализ литературных данных и собственных наблюдений показал, что *Juglans nigra* может успешно переносить морозы до -35 -41 °С, а его зимостойкость, как и других видов рода *Juglans* L. увеличивается с возрастом, так как отмечается феноритмотип, свойственный природному ареалу. В регионе исследований (Волгоградская область) критически низкие температуры (до -37 °С), дефицит влаги в вегетационный период в сочетании с высокими летними температурами (до +42… +45 °С) и засоленность почвы являются ограничивающими факторами. Проведенное ранжирование коллекционных фондов по отношению к низким температурам выявило высокую перспективность ореха черного, включая отбор популяций для защитных и озеленительных насаждений [11, 12, 13]. Многолетние наблюдения за интродуцированными популяциями выявили, что потепление климата [14, 15] оказало прямое влияние на увеличение продолжительности периода вегетации у *Juglans nigra* приблизительно на 13-15 дней, как в г. Камышине, так и в г. Волгограде. Мониторинговые наблюдения показали высокую адаптивную способность в отношении генеративных фенофаз, позволяя оценивать стабильность цветения и плодоношения на уровне 3-5 баллов.

В России наибольшие площади *J. nigra* (около 2 тыс. га) сосредоточены в Краснодарском крае [16]. Озеленители считают, что главным достоинством этого вида для зеленого строительства является прямоствольность, а также крупные до 80-120 см сложные листья, которые образуют чрезвычайно декоративную крону. Дерево ореха не образует изгиб ствола в сторону наибольшего освещения, является быстрорастущим, одной из долговечных пород [17]. Научно-практические результаты по совершенствованию технологий выращивания лесных культур (чистых и смешанных) *J. nigra* в Нижнем Дону показали (по данным С. С. Тарана, 2002), что в условиях засолённого тяжёлого глинистого южного чернозема в Ростовской области орех отличался быстрым ростом в молодом возрасте. Чистые культуры, созданные посевом семян, в возрасте 32 лет имели максимальную высоту 16,2 м и продуктивность 207,2 м^3/га. В смешанных посадках *J. nigra* не уступал по росту *Q. robur, F. pennsylvanica* и превзошел *J. regia*, *Robinia pseudoacacia*. В лесных культурах *T. cordata* приросла лучше (на 14,8 %), чем в смешанных насаждениях с *Acer platanoides* [13, 18].

За длительный период своего существования ФНЦ агроэкологии РАН создал сеть опытных станций с дендрологическими коллекциями, расположенными в различных почвенно-климатических зонах – типичных районах аридной зоны с устойчивым и умеренным (в отдельные годы острым) летним дефицитом влаги. Коллекция Нижневолжской станции по селекции древесных пород была дополнена видами *Juglans* L. в 1932 году, которые прошли эколого-экспериментальную проверку в условиях каштановых почв (г. Камышин). Долгосрочные испытания ореха черного показали, что он в новом ареале не достигает таксационных характеристик, свойственных для вида в природном ареале – высота 10-20 м [13]. Деревья *J. nigra* имеют достаточно хорошие таксационные показатели в 40-летнем возрасте, достигая 8,2-8,5 м. Орех формирует стройный ствол, скелетные ветви соответствуют возрасту. В коллекциях был зафиксирован самосев, который не представляет инвазионной опасности, поскольку ювенильные растения были нежизнеспособны из-за недостатка освещенности под кроной дерева.

Потенциальному распространению ореха черного за пределы полога насаждения могут способствовать грызуны и птицы.

На Нижневолжской станции по селекции древесных пород маточный участок ореха черный был заложен в 1939 году (Балашов П. К., 1952). Верхний слой почв участка – это песчаный пласт (0,35-0,40 м), который был смешан с верхним горизонтом почвы после его основной обработки. Репродуктивный возраст у ореха черного наступил в 9-10 лет. Плоды варьировали от шарообразной до грушевидной формы. При семенном размножении вида выявлено, что сеянцы, выращенные из удлиненно-односторонних и грушевидных плодов, имеют более мощную раскидистую крону и интенсивную окраску листьев. Балашов П. К.

[19] прогнозировал перспективность выращивания вида в условиях юго-востока на каштановых почвах, в местах с неглубоким залеганием грунтовых вод и в условиях хорошего водного режима почв. Работы по гибридизации ореха черного с другими видами ореха (серый, грецкий, маньчжурский) проводились с 1961 года. За это время получены гибриды черного, маньчжурского и серого ореха. В степной зоне Среднего Поволжья (Поволжская АГЛОС ВНИАЛМИ) с 1960 года на обыкновенных черноземах выращиваются *J. mandshurica* и *J. cinerea* L. [13].

На территории Волгоградского аграрного университете орех черный (3 растения) произрастает в коллекции с 2000 года. В 25-летнем возрасте его высота составляет 3,5-5,0 м. Он ежегодно цветет и плодоносит, образуя шарообразные плоды. В подкроновом пространстве несобранные плоды прорастают, и формируется здоровый самосев, который передается волонтерам.

На основе анализа существующих технологий размножения выявлено, что разработки по этому вопросу связаны с получением посадочного материала ореха черного только в условиях открытого грунта. Определенные препятствия при выращивании сеянцев возникают из-за некоторых биоэкологических особенностей ореха черного: глубокого физиологического покоя семян, размера орехов и их предпосевной обработки [20], строгий регламент условий стратификации, которые влияют на продолжительность (растянутость) появления всходов, небольшой процент всхожести, низкий выход стандартного посадочного материала представителей рода *Juglans*, являются основными сдерживающими факторами при выращивания сеянцев ореха.

Для усовершенствования технологических приемов выращивания следует проводить сбор плодов в оптимальные сроки, которые нами определены в середине осени – в октябре с разработкой регламента хранения: первоначальное хранение орехов проводят в сухом, прохладном помещении в течение 2 недель после сбора, что ускоряет адаптацию семенного способа размножения для условий закрытого грунта.

На предварительном этапе осуществляется стратификация семенного материала (3,5-4,0 т). Стратификацию проводят в грунтовой траншее (2,8 м × 2,4 м × 2,8 м), где чередуют слой плодов (0,10 м) и слой песка (0,15 м). Заключительный песчаный слой должен быть 0,50 м. Соблюдение сроков сбора орехов, условий их хранения, включая сроки их стратификации (до 6 месяцев) обеспечивают грунтовую всхожесть около 75 %, что на 6 % выше, чем при коротких сроках стратификации в течение 1,5-2,0 месяцев.

С учетом биологических потребностей вида нами подобран субстрат (ТПС 46с/0-10/4,5) с нейтральной кислотностью (pH водн. 5,5-6,5), приготовленный на основе торфа. Фракционный состав субстрата – 0-10 мм, влажность не менее 65 %, что позволяет применять автоматизированную линию набивки контейнеров. На этапе выращивания сеянцев дополнительно рекомендовано внесение удобрений. Поэтому на 30 день после посева применялся SOLAR УНИВЕРСАЛ 18:18:18+3MgO+МЭ, расход 20 г/10 л воды. Рабочий раствор 6 л/м^2. Результаты мониторинга за полевой всхожестью сеянцев показали оправданность и высокую результативность удлинения сроков стратификации до 6 месяцев. Через 55 дней после посева всхожесть в контейнерах составляла 75 %. В контролируемых условиях микроклимата (защищенного грунта) всхожесть была выше на 6 %, чем в открытом грунте [21].

Преимуществом разработанной технологии является система автоматического полива, которая контролирует влажность почвенно-воздушной среды. Автоматизированный полив обеспечил контроль за кратностью поливов (26 раз), скоростью подачи и расходом воды (310 л/проход рампы), внесением подкормок. После орошения сеянцев обязательно включалась система вентиляции на 2-3 часа, чтобы поддержать оптимальный температурный режим – 27-35 $^{\circ}$C, который лучшим образом способствует росту надземной части и корневых систем (рисунок 2). Резкое уменьшение термического режима может приводить к уменьшению площади фотосинтезирующей поверхности [22], соответственно следует ожидать уменьшение скорости роста, что кране нежелательно при выращивании теплолюбивых сеянцев ореха.



Тепличный полигон по выращиванию *Juglans nigra* / Greenhouse landfill for growing *Juglans nigra*



Мониторинг микроклиматических параметров / Monitoring of microclimatic parameters



Контроль таксационных показателей / Monitoring of tax indicators



Стандартный посадочный материал / Standard planting material

Рисунок 2 – Реализация агробиотехнологии кассетного выращивания сеянцев
Figure 2 – Implementation of agrobiotechnology of cluster seedling cultivation

Рекомендованный автоматизированный режим полива, внесения удобрений при оптимальном гидротермическом режиме обеспечил стандартность 82,5 % сеянцев ореха (согласно ОСТ 56-98-93) в течение 2 месяцев со дня посева (таблица 1).

Таблица 1 – Мониторинг таксационных параметров сеянцев *Juglans nigra* по кассетной технологии (закрытая корневая система)
Table 1 – Monitoring of the taxation parameters of *Juglans nigra* seedlings using cassette technology (closed root system)

Габитус надземных органов / The habitus of aboveground organs						Фитомасса сеянцев, 10 шт. /г Phytomass of seedlings, 10 pcs/g *			
высота, см / height, cm			диаметр, мм / diameter, mm						
V	VI	VII	V	VI	VII	Растение / Plant	Стебель / The stem	Листья / Leaves	Корни / Roots
Средние показатели / Average values									
11,4	32,5	64,1	3,06	3,38	3,67	304,4 119,18	99,6 43,32	60,3 23,51	144,5 52,35
Максимальные показатели / Maximum performance						Структура воздушно-сухой массы, % / The structure of the air-dry mass, %			
20,1	47,73	82,6	3,32	3,86	3,98	100,0	34,34	21,73	43,93

* (в числителе сырая масса, в знаменателе – воздушно-сухая), октябрь.
* (raw mass in the numerator, air–dry mass in the denominator), october.

Так как в первый год орех чёрный развивает глубокий стержневой корень, то нами апробирована и рекомендована воздушная подрезка (подсушивание) корней. Необходимый эффект достигается при размещении кассет на металлические подставки и регулировкой гидротермического микроклимата в теплице. В связи с интенсивностью роста сеянцев рекомендуется обрезка надземной части на высоте 0,40-0,45 м. Данный прием способ-

ствует скорейшему одревеснению ствола, замедлению роста в высоту, уменьшению повреждений растений при транспортировке к месту дальнейшей посадки. С конца июля по сентябрь температура в теплице должна соответствовать температуре окружающей среды для адаптации и «закалке» сеянцев к условиям открытого грунта.

При размещении растений на площадке закаливания необходимо учитывать, что на ювенильной стадии черный орех не переносит тень, но в первые годы жизни выдерживает небольшое освещение сверху [5], поэтому соблюдение соответствующих биоэкологических потребностей к освещению, приводит к хорошему результату адаптации сеянцев. При достаточно плотном размещении растений на площадке выращивания обеспечивается надлежащая защита от ветра и позднеосенних заморозков.

Апробация новой технологии выращивания сеянцев ореха черного (рисунок 3) прошла успешно, позволяет совершенствовать различные этапы, повышая качество посадочного материала. Рекомендуется для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой.

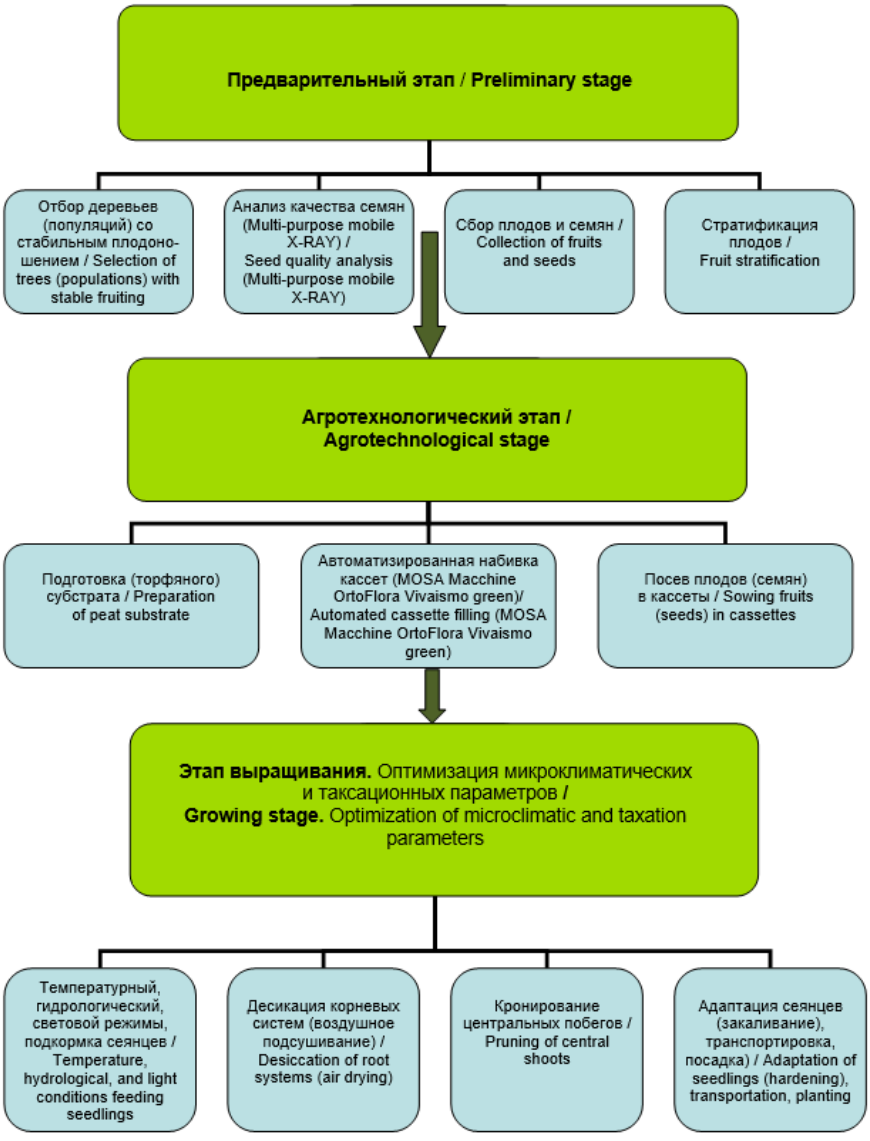


Рисунок 3 – Схема агробиотехнологии кассетного выращивания сеянцев
Figure 3 – Agrobiotechnology scheme of cassette seedling cultivation

Разработанная схема агробиотехнологии кассетного выращивания сеянцев предусматривает три последовательно выполняемых этапа, что формирует алгоритм мобилизации посадочного материала ореха черного, который может быть адаптирован при выращивании других видов, имеющих сходные крупные плоды, такие как каштан конский, дуб и др.

Заключение. В России, включая Нижнее Поволжье, следует расширять ареал возделывания *Juglans nigra* L., так как он обладает достаточной зимостойкостью, засухоустойчивостью, стабильным плодоношением и высокими лесомелиоративными качествами. Разработка кассетной технологии выращивания сеянцев успешно реализована в тепличном комплексе Нижневолжской станции по селекции древесных пород – филиала ФНЦ агроэкологии РАН, где внедрены инновационные приемы на базе автоматизированной линии «MOSA Macchine OrtoFlora Vivaismo green». В течение вегетационного сезона выращиваются сеянцы стандартного размера, имеющие закрытую корневую систему. Орех черный может успешно расти в чистых и смешанных лесных культурах, озеленительных насаждениях. Выращивание сеянцев по кассетной технологии позволяет обеспечить достаточным количеством посадочного материала лесохозяйственные организации, повысить биоразнообразие в агролесомелиоративных ландшафтах и урбанизированных территориях.

Conclusions. In Russia, including the Lower Volga region, the cultivation area of *Juglans nigra* L. should be expanded, as it exhibits sufficient winter hardiness, drought tolerance, stable fruiting, and high forest reclamation qualities. The development of a cassette seedling cultivation technology has been successfully implemented in the greenhouse complex of the Lower Volga Tree Breeding Station, a branch of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, where innovative techniques have been implemented using the automated MOSA Macchine OrtoFlora Vivaismo green line. Standard-sized seedlings with closed root systems are grown throughout the growing season. Black walnut can thrive in pure and mixed forest plantations and green spaces. Growing seedlings using cassette technology allows forestry organizations to obtain sufficient planting material and increase biodiversity in agroforestry landscapes and urban areas.

Библиографический список

1. Манаенков А. С., Корнеева Е. А. Биогеографические аспекты оценки эффективности защиты пахотных земель лесными полосами. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2021. № 3. С. 48-54.

2. Семенютина А. В. и др. Мобилизация дендрологических ресурсов и пути сохранения их биоразнообразия в малолесных регионах. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 288 с.

3. Brus R. et al. Extent, distribution and origin of non-native forest tree species in Europe. Scandinavian Journal of Forest Research. 2019. V. 34. Pp. 533-544.

4. Nicolescu N. V., Károly R., Torsten V. The review of black walnut (*Juglans nigra* L.) ecology and management in Europe. Trees. 2020. V. 34. № 5. Pp. 1087-1112.

5. Lestrade M., Becquey J., Coello J., Gonin P. Autecologie of common walnut (*Juglans regia* L.), black walnut (*Juglans nigra* L.), and hybrid walnut (*Juglans x intermedia*). Forêt entreprise 2012. V. 207. Pp. 5-12.

6. Rédei K., Antal B. Black walnut (*Juglans nigra* L.) as a valuable stand-forming tree species: growing technological review. Acta Agrarian Debr. 2017. V. 69. Pp. 43-48.

7. Thomas A. L., Kallenbach R., Sauer T. J., Brauer K. Carbon and nitrogen accumulation within four black walnut alley cropping sites across Missouri and Arkansas, USA. Agroforestry systems. 2020. V. 94. Pp. 1625-1638.

8. Liu Sh., Cheng S., Jia J., Cui J. Resource efficiency and environmental impact of juglone in Pericarpium Juglandis: the review. Frontiers in Environmental Science. 2022. V. 10.

9. Bishop B. et al. The review to frame the utilization of Eastern black walnut (*Juglans nigra* L.) cultivars in alley cropping systems. Agroforestry systems. 2024. V. 98. Pp. 309-321.

10. Малышева З. Г. Мелиоративная способность насаждений ореха грецкого и ореха черного аккумулировать тяжелые металлы в наземной фитомассе. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 106. С. 151-161.

11. Хужахметова А. Ш., Богданов А. В. Адаптационные возможности и эколого-хозяйственная перспектива применения орехоплодных культур в Нижнем Поволжье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 2 (26). С. 74-79.

12. Славский В. А., Николаев Е. А., Калаев В. Н. Интродукция, селекция и культивирование орехов рода *Juglans* в Центральном Черноземье: монография. Воронеж: Роза ветров, 2013. 262 с.

13. Belyaev A. I., Huzhahmetova A. Sh., Semenyutina A. V. Historical formation and prognostic estimates of dendroflora enrichment with generic complex taxa in protective afforestation and landscaping. History questions. 2021. № 7-1. Pp. 179-188.

14. Серебряков О. В., Яковенко Н. В. Влияние современных климатических тенденций на фенологию древесных пород: последствия для устойчивого лесовосстановления в Центральном Черноземье. Научно-агрономический журнал. 2025. № 4 (131). С. 5-17.

15. Хужахметова А. Ш. и др. Анализ биоресурсных коллекций по климатическим ритмам и фенологическим процессам. Успехи современного естествознания. 2021. № 2. С. 39-45.

16. Шехмирзова М. Д., Василенко А. С. Перспективы разведения ореха черного на Северо-Западном Кавказе. Новые технологии. 2012. № 2. С. 1-5.

17. Соколова В. В., Швецов А. Н. Коллекция орехоплодных растений в лаборатории природной флоры Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН. Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 9. С. 56-59.

18. Хужахметова А. Ш., Таран С. С. Закономерности роста и развития орехоплодных древесных видов в условиях интродукции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1 (37). С. 106-110.

19. Балашов П. К. Орехи в зоне сухих степей на погребенных каштановых почвах. Лесное хозяйство. 1952. С. 27-29.

20. Вербицкая Н. С., Таран С. С. Влияние биометрических параметров семян ореха черного на их прорастание. Студенческий научный форум. 2013. https://scienceforum.ru/2013/article/2013003418"> https://scienceforum.ru/2013/article/2013003418

21. Sapronova D., Belyaev A., Khuzhakhmetova A., Sapronov V. Technological aspects of growing *Juglans nigra* (L.) with closed root system for agroforestry in arid regions. Research on crops. 2023. V. 24. № 4. Pp. 784-788.

22. Воронина В. П., Киселева А. В. Анализ роста живого листа *Tilia platyphyllos* неинвазивным методом в ранневесенний период. Известия НВ АУК. 2026. № 1 (85). С. 41-52.

References

1. Manaenkov A. S., Korneeva E. A. Biogeographical aspects of assessing the effectiveness of arable land protection with forest belts. Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography. 2021. No. 3. Pp. 48-54.

2. Semenyutina A. V. et al. Mobilization of dendrological resources and ways to preserve their biodiversity in sparsely forested regions. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2021. 288 p.

3. Brus R. et al. Extent, distribution and origin of non-native forest tree species in Europe. Scandinavian Journal of Forest Research. 2019. V. 34. Pp. 533-544.

4. Nicolescu N. V., Károly R., Torsten V. The review of black walnut (Juglans nigra L.) ecology and management in Europe. Trees. 2020. V. 34. № 5. Pp. 1087-1112.

5. Lestrade M., Becquey J., Coello J., Gonin P. Autecologie of common walnut (Juglans regia L.), black walnut (Juglans nigra L.), and hybrid walnut (Juglans x intermedia). Forêt entreprise 2012. V. 207. Pp. 5-12.

6. Rédei K., Antal B. Black walnut (Juglans nigra L.) as a valuable stand-forming tree species: growing technological review. Acta Agrarian Debr. 2017. V. 69. Pp. 43-48.

7. Thomas A. L., Kallenbach R., Sauer T. J., Brauer K. Carbon and nitrogen accumulation within four black walnut alley cropping sites across Missouri and Arkansas, USA. Agroforestry systems. 2020. V. 94. Pp. 1625-1638.

8. Liu Sh., Cheng S., Jia J., Cui J. Resource efficiency and environmental impact of juglone in Pericarpium Juglandis: the review. Frontiers in Environmental Science. 2022. V. 10.

9. Bishop B. et al. The review to frame the utilization of Eastern black walnut (Juglans nigra L.) cultivars in alley cropping systems. Agroforestry systems. 2024. V. 98. Pp. 309-321.

10. Malysheva Z. G. Melioration capacity of walnut and black walnut plantations to accumulate heavy metals in above-ground phytomass. Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. No. 106. Pp. 151-161.

11. Khuzhakhmetova A. Sh., Bogdanov A. V. Adaptation capabilities and ecological and economic prospects for the use of nut crops in the Lower Volga region. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2012. No. 2 (26). Pp. 74-79.

12. Slavsky V. A., Nikolaev E. A., Kalaev V. N. Introduction, selection and cultivation of nuts of the genus *Juglans* in the Central Black Earth Region: monograph. Voronezh: Wind Rose, 2013. 262 p.

13. Belyaev A. I., Huzhahmetova A. Sh., Semenyutina A. V. Historical formation and prognostic estimates of dendroflora enrichment with generic complex taxa in protective afforestation and landscaping. History questions. 2021. № 7-1. Pp. 179-188.

14. Serebryakov O. V., Yakovenko N. V. The Impact of Modern Climatic Trends on the Phenology of Tree Species: Consequences for Sustainable Forest Restoration in the Central Black Earth Region. Scientific and Agronomic Journal. 2025. No. 4 (131). Pp. 5-17.

15. Semenyutina A. V. et al. Analysis of Bioresource Collections by Climatic Rhythms and Phenological Processes. Advances in Modern Natural Science. 2021. No. 2. Pp. 39-45.

16. Shekhmirzova M. D., Vasilenko A. S. Prospects for Black Walnut Cultivation in the Northwest Caucasus. New Technologies. 2012. No. 2. Pp. 1-5.

17. Sokolova V. V., Shvetsov A. N. Collection of nut-bearing plants in the Laboratory of Natural Flora of the N. V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex. 2018. V. 32. No. 9. Pp. 56-59.

18. Khuzhakhmetova A. Sh., Taran S. S. Patterns of Growth and Development of Nut-bearing Tree Species under Introduction Conditions. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2015. No. 1 (37). Pp. 106-110.

19. Balashov P. K. Nuts in the Dry Steppe Zone on Buried Chestnut Soils. Forestry. 1952. Pp. 27-29.

20. Verbitskaya N. S., Taran S. S. The influence of biometric parameters of black walnut seeds on their germination. Student Research Forum. 2013. https://scienceforum.ru/2013/article/2013003418"> https://scienceforum.ru/2013/article/2013003418

21. Sapronova D., Belyaev A., Khuzhakhmetova A., Sapronov V. Technological aspects of growing Juglans nigra (L.) with closed root system for agroforestry in arid regions. Research on crops. 2023. V. 24. № 4. Pp. 784-788.

22. Voronina V. P., Kiseleva A. V. Analysis of growth of living leaf of *Tilia platyphyllos* by non-invasive method in early spring period. Izvestiya NV AUK. 2026. No 1 (85). Pp. 41-52.

Информация об авторах

Сапронов Василий Васильевич, директор, филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0001-6945-0905, e-mail: pitomnik-vnialmi@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

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

Сапронова Дарья Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0002-3559-3745, e-mail: sapronova.darya@mail.ru

Authors' Information
Sapronov Vasily Vasilyevich, Director, branch Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Amelioration and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: 0000-0001-6945-0905, e-mail: pitomnik-vnialmi@mail.ru
Voronina Valentina Pavlovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: http://orcid.org/0000-0002-3441-5314, e-mail: v.p.voronina@mail.ru
Khuzhakhmetova Aliya Shamilievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Amelioration and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: http://orchid.org/0000-0001-5127-8844, e-mail: avfanc@yandex.ru
Sapronova Darya Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Amelioration and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: http://orchid.org/0000-0002-3559-3745, e-mail: sapronova.darya@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-35

THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE *CHLORELLA VULGARIS* KINETIC CHARACTERISTICS AND ITS ROLE IN THE REMOVING BIOGENIC AND ORGANIC SUBSTANCES OUT OF RECLAMATION SYSTEMS DRAINAGE WATER

Strizhnikov O. A.

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: oleg.strijnikov@yandex.ru

Received 27.03.2026 Submitted 05.06.2026

The studies were carried out within the theme FGUF-2025-0002: Develop a scientific basis and technological solutions for the redistribution of water resources in order to increase the water supply in Russian regions using modern hydraulic structures that ensure the reliability and safety of the reclamation and water management complex.

Summary

The article explores the use of the green microalgae Chlorella vulgaris for purifying drainage water from biogenic elements, organic matter, and increasing cell numbers. Important characteristics such as specific growth rate, substrate removal rate, and others are determined, which can serve as parameters for mathematical modeling and subsequent optimization of the purification process.

Abstract

Introduction. This article discusses the application of the biological treatment method for collector-drainage runoff using the green microalgae Chlorella vulgaris. The study of biological intensification of agricultural wastewater treatment is an important issue in ensuring environmental protection from anthropogenic impact and improving the efficiency of water resources use. One promising approach is the use of microalgae as a tool for wastewater treatment. Microalgae, by absorbing biogenic elements, accumulate useful biomass, while synthesizing biologically active substances (proteins, fats, and carbohydrates), and are capable of accumulating substances in their cells, which makes them suitable as a biofertilizer. Another important advantage of this method is that installations with microalgae do not require a significant area of land allocated for construction. **Object.** The object of the research is to study the properties of the green microalgae Chlorella vulgaris to accumulate biomass and remove pollutants from waters diverted from reclaimed lands. **Materials and methods.** The main research methods used were laboratory experiments, visual observation, instrumentation and analytical equipment, and quantitative description of processes. **Results and conclusions.** During the research, it was confirmed that microalgae grow effectively in the collector and drainage waters of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation, as well as effectively remove nitrates, phosphates and reduce the concentration of biochemical oxygen consumption (BPC5) to standards close to the maximum permissible concentrations (MPC) established by the legislation of the Russian Federation. The kinetics of increasing the number of cells and substrate consumption were also described. This leads to the conclusion that the biotechnological method based on the use of unicellular algae is an environmentally friendly approach that allows obtaining water of proper quality, as well as accumulating useful biomass for further use.

Keywords: *drainage water, biological water treatment, microalgae, Chlorella vulgaris, and microalgae growth kinetics.*

Citation. Strizhnikov O. A. The experimental study of the *Chlorella vulgaris* kinetic characteristics and its role in the removing biogenic and organic substances out of reclamation systems drainage water. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 313-321 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-35.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 631.6.03: 628.357

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК *CHLORELLA VULGARIS* И ЕЁ РОЛИ В УДАЛЕНИИ БИОГЕННЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДРЕНАЖНЫХ ВОД С ОСУШИТЕЛЬНЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Стрижников О. А., *соискатель*

ФГБНУ «ФНЦ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова»
г. Москва, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения темы FGUF-2025-0002: Разработать научное обоснование и технологические решения перераспределения водных ресурсов для повышения водообеспеченности российских регионов с использованием современных гидротехнических сооружений, обеспечивающие надежность и безопасность функционирования мелиоративно-водохозяйственного комплекса.

Актуальность. В данной статье рассматриваются вопросы применения метода биологической очистки коллекторно-дренажных стоков с использованием зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris*. Изучение биологической интенсификации очистки вод сельскохозяйственного производства является актуальным вопросом обеспечения охраны окружающей среды от антропогенного воздействия и повышения эффективности использования водных ресурсов. Одним из перспективных направлений является использование микроводорослей в качестве инструмента очистки сточных вод. Микроводоросли, поглощая биогенные элементы, накапливают полезную биомассу, синтезируя при этом биологически активные вещества (белки, жиры и углеводы), а также способны аккумулировать вещества в своих клетках, что делает их пригодными для использования в качестве биоудобрения. Также важным достоинством данного метода является то, что установки с микроводорослями не нуждаются в значительных площадях земельных участков, отводимых под строительство. **Объект.** Объектом исследований является изучение свойств зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* накапливать биомассу и удалять загрязняющие вещества из вод, отводимых с мелиорируемых земель. **Материалы и методы.** В качестве основных методов исследования использовались: лабораторные опыты, визуальное наблюдение, приборно-аналитическое оборудование, количественного описания процессов. **Результаты и выводы.** В ходе проведения исследований было получено подтверждение, что микроводоросли эффективно растут на коллекторно-дренажных водах Нечерноземной зоны Российской Федерации, а также эффективно удаляют нитраты, фосфаты и снижают концентрацию биохимического потребления кислорода ($БПК_5$) до нормативов близких к предельно-допустимым концентрациям (ПДК), установленных законодательством Российской Федерации. Также были описана кинетика увеличения численности клеток и потребления субстрата. Это позволяет сделать вывод о том, что биотехнологический метод, основанный на использовании одноклеточных водорослей, является экологически безопасным подходом, позволяющим получить воду надлежащего качества, а также накопить полезную биомассу для дальнейшего использования.

Ключевые слова: *дренажные воды, биологическая очистка воды, микроводоросли, Chlorella vulgaris, кинетика роста микроводорослей.*

Цитирование. Стрижников О. А. Экспериментальное исследование кинетических характеристик *Chlorella vulgaris* и её роли в удалении биогенных и органических веществ из дренажных вод с осушительных гидромелиоративных систем. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 313-321. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-35.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. В последние десятилетия урбанизация, развитие промышленности и сельскохозяйственного производства привели к одной из наиболее глобальных проблем, связанных с охраной водных ресурсов, загрязнением водных объектов биогенными элементами (соединения азота и фосфора), что приводит к эвтрофикации, то есть развитию патогенной микрофлоры в виде токсичных сине-зеленых водорослей [1, 2]. Последнее явление в конечном итоге приводит к снижению качества воды и уровня растворенного кислорода, что в свою очередь сказывается на видовом разнообразии водных экосистем. В некоторых странах установлены строгие правила очистки сточных вод отраслей народного хозяйства, будь то для повторного использования или отвода в водоприемники. Однако стоит отметить, что установленный уровень ПДК для нитратного азота 40 мг/л является

завышенным, в то время как для повышения биологической продуктивности водоема достаточно менее 1 мг/л. Одним из основных источников поступления биогенных элементов с сельскохозяйственных угодий являются коллекторно-дренажные стоки, отводимые с мелиорируемых земель, которые формируются в результате работы гидромелиоративных систем в зоне орошения и осушения земель. В настоящее время отечественными и зарубежными учеными разработано множество мероприятий по снижению нагрузки на водоемы и водотоки, таких как: создание локальных очистных сооружений для перехвата стока [3], использование мембранных технологий [4], создание специальных биоплато с высшими водными растениями, проектирование полей фильтрации и орошения. Также распространен биологический метод очистки сточных вод, основанный на аэробном и анаэробном сбраживании с использованием активного ила [5]. Несмотря на высокую эффективность, данные методы являются энергозатратными или же требуют значительной площади под строительство. Традиционные системы очистки сточных вод в основном направлены на удаление твердых частиц и снижение БПК с помощью активного ила. Следовательно, эффективность традиционных методов очистки воды в удалении органических и неорганических питательных веществ остаётся недостаточной. В настоящее время внимание исследователей уделяется применению микроводорослей в качестве агента по ремедиации сточных вод. Потенциал микроводорослей в удалении питательных веществ из различных типов сточных вод для достижения более высокой производительности был показан в нескольких исследованиях [6, 7, 8]. Микроскопические водоросли – это одноклеточные организмы, которые обитают как в пресной, так и морской воде, а также в почве и на коре деревьев.

Микроводоросли имеют свойство расти на сточных водах, используя химические элементы, такие как углерод, азот и фосфор, в качестве субстрата для своего роста, часть из которых идёт на построение биомассы и синтез биологически активных веществ [9]. Ускорение процессов очистки сточных вод в системах, использующих микроводоросли, позволяет сократить сроки пребывания и увеличить допустимую нагрузку на гидродинамику. Стоит отметить, что использование микроводорослей как биотехнологический подход к очистке коллекторно-дренажного стока (КДС) остаётся слабоизученным. КДС имеет разное происхождение и химический состав, зависящие прежде всего от природно-климатических условий: зона недостаточного увлажнения характеризуется высоким содержанием растворенных солей и щелочной средой, а зона достаточного увлажнения – высоким содержанием биогенов, низкой минерализацией, а также нейтральной или слабокислой реакцией.

Микроводоросли в основном являются фототрофными организмами, получая энергию для синтеза АТФ из солнечного света и ассимилируя растворённый неорганический углерод (CO_2 и CO_3^{2-}), при этом выделяя кислород. В процессе фотосинтеза происходят световые реакции, в ходе которых энергия света преобразуется в химическую энергию (АТФ и НАДФН), и темновые реакции, в ходе которых CO_2 восстанавливается до углеводов за счёт накопленной химической энергии. Однако при определенных условиях (как, например, смена времени суток) микроводоросли могут быть переведены на гетеротрофный тип питания.

Подбор вида или штамма микроводорослей с высокой продуктивностью и хорошей устойчивостью к условиям окружающей среды имеет решающее значение для применения их в системах очистных сооружений [10]. В настоящее время внимание исследователей обращено на применение микроводоросли *Chlorella vulgaris* как наиболее перспективного биологического агента процесса очистки.

Материалы и методы исследования. Образцы дренажных вод для лабораторных испытаний были получены путем отбора проб с гидромелиоративной осушительной системы, расположенной на территории Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева. Данные о химическом составе в период максимального содержания загрязняющих веществ в пробах воды приведены в таблице 1. Концентрация нитратного азота и других химических элементов измерялась с использованием метода капиллярного электрофореза согласно стандарту, ГОСТ 31867-2012. Биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$) определялось с помощью метода амперометрии с использованием прибора МАРК 303-М в соответствии с методикой ПНД Ф 14.1:2:3:4.123 – 97. Определение значений pH осуществлялось с помощью метода потенциометрии прибором фирмы Мегеон.

Таблица 1– Химический состав коллекторно-дренажных вод осушительной системы в летний период
Table 1 – Chemical composition of collector-drainage water of the drainage system in summer period

Показатель	Концентрация ионов, мг/л / Ion concentration, mg/l								
	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4	NO_3	PO_4	$БПК_5$
ОС РГАУ-МСХА, (25.06.2023 лето) / Experimental Station of the Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy, (25.06.2023 summer)	6	0,49	15,76	94,18	27,10	47,25	41,71	0,11	250
ПДК рыб.-хоз., мг/дм^3 / Maximum Permissible Concentrations, mg/dm^3	6,5-8,5	0,5	50	40	0,4	180	40	0,2	2,1

Как показано в таблице, значения химических элементов близки или превышают предельно допустимые значения.

Микроводоросль Chlorella vulgaris является одним из самых известных видов, которые встречаются в природе. Данный организм хорошо зарекомендовал себя в качестве тест-объекта для проведения токсикологического анализа водоемов и повышения продуктивности ихтиофауны [11]. Процесс культивирования достаточно прост, что делает данную водоросль эффективным инструментом в биотехнологических исследованиях среди других микроводорослей. Для оценки возможности применения в качестве метода очистки был выбран штамм Chlorella vulgaris BIN, произведенный компанией «Альготек» и находящийся в коллекции Института физиологии растений им К. А. Тимирязева РАН. Стартовую культуру суспензии готовили в течение семи дней в шейкере-инкубаторе с использованием среды Прата, которая имеет следующий химический состав: KNO_3 – 100 мг/л, K_2HPO_4 – 10 мг/л, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 1 мг/л, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ – 1 мг/л.

Культивирование микроводорослей проводилось в колбах объёмом 250 см^3, установленных в камере искусственного климата ЛИА-2 в течение 5 дней в 4-кратной повторности при следующих условиях: температура поддерживалась на уровне 28 ˚С, освещенность составляла 8600 люкс, световой режим – 12 часов, доза внесения культуры составляла 1:10 (начальная плотность клеток, 5 млн кл./мл.) от общего объема раствора, pH поддерживалась в пределах значения 6, являющегося оптимальным условием для культивирования, а также осуществлялось механическое перемешивание для улучшения условий газообмена (рисунок 1).

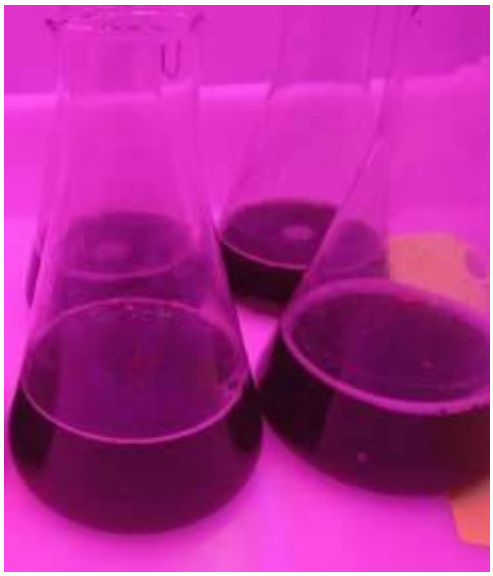


Рисунок 1 – Экспериментальное исследование по культивированию C. Vulgaris на коллекторно-дренажном стоке.
Figure 1 – The experimental study on the cultivation of C. Vulgaris on collector-drainage runoff

Определение численности клеток осуществлялось методом микроскопии в специальной счетной камере Горяева.

Результаты и обсуждение. Экспериментальные исследования, выполненные автором, продемонстрировали способность микроводорослей к преобразованию загрязняющих компонентов. За период от 5 до 7 суток отмечено существенное уменьшение концентрации нитратов в образцах, обусловленное условиями, возникшими при инокуляции хлореллы – улучшением аэробного режима, процессами денитрификации через механизм восстановления нитратов до состояния N_2. На этапе 7-10 суток дальнейших заметных изменений в химическом составе проб не наблюдается. График снижения концентрации нитратного азота приведен на рисунке 2.

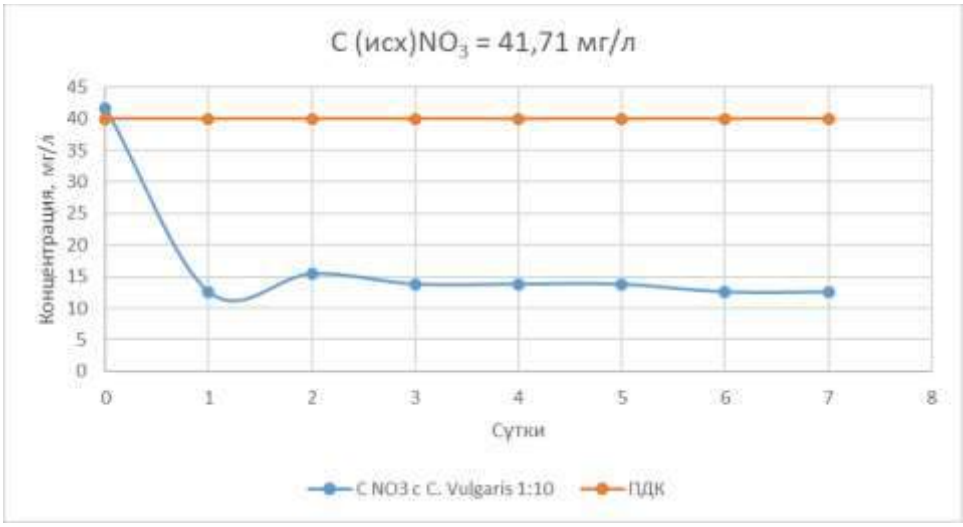


Рисунок 2 – Изменение концентрации нитратов в процессе жизнедеятельности C. vulgaris
Figure 2 – Changes in nitrate concentration during C. vulgaris vital activity

Выращивание микроводорослей рода хлореллы в сточных водах может снижать биохимическую потребность в кислороде – кислород, потребляемый аэробными микроорганизмами при разложении биоразлагаемого органического вещества в воде. Это связано с тем, что хлорелла выделяет кислород в процессе фотосинтеза, что переводит водный объект в аэробный режим и интенсифицирует процессы очистки. На рисунке 3 приведен результат анализа снижения уровня биохимического потребления кислорода.

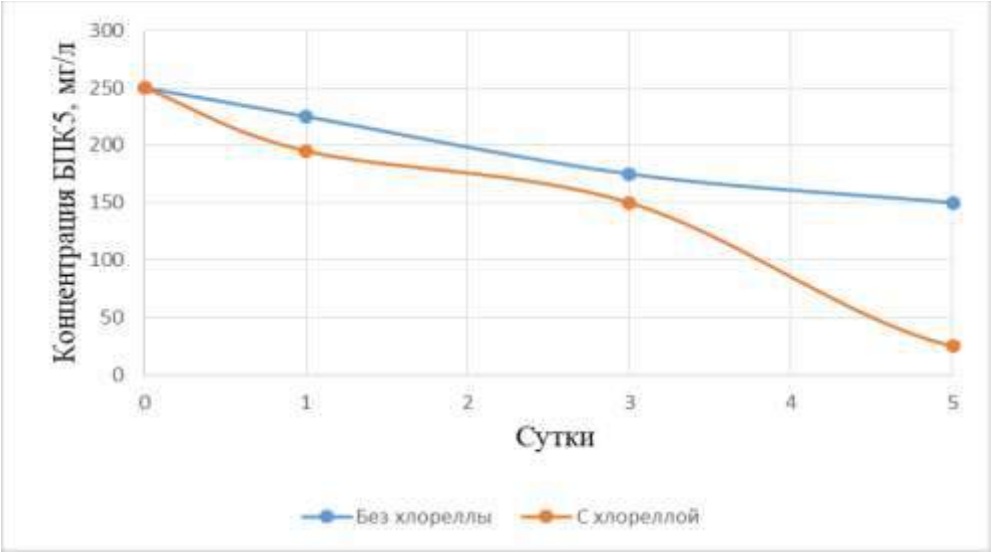


Рисунок 3 – Снижение концентрации $БПК_5$
Figure 3 – Decreased BOD_5 concentration

Микроводоросли способны накапливать биомассу, поглощая органические и неорганические вещества из сточных вод более интенсивно, чем в традиционных питательных средах. Это позволяет использовать сточные воды в качестве субстрата для культивирования микроводорослей, а также для биологической очистки загрязняющих веществ. На рисунке 4 показано изменение численности хлореллы, выращиваемой на коллекторно-дренажном стоке и питательной среде.

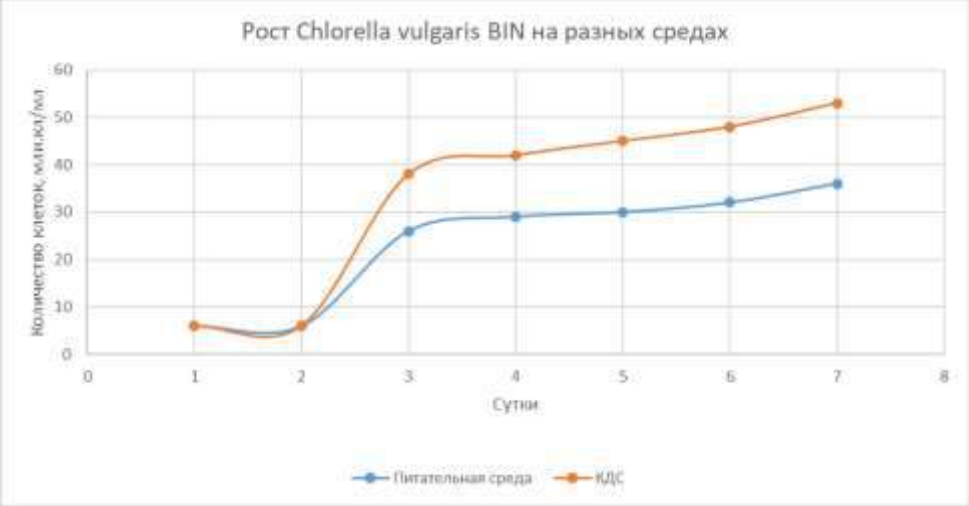


Рисунок 4 – Динамика изменения численности клеток водоросли при выращивании на коллекторно-дренажном стоке и питательной среде Прата
Figure 4 – Dynamics of changes in the number of algae cells during cultivation on collector-drainage runoff and Prata nutrient medium

В ходе проведения эксперимента отмечалось повышение уровня pH, динамика изменения уровня pH при жизнедеятельности *Chlorella vulgaris* приведена на рисунке 5. Данный факт подтверждает ранее полученные данные, отраженные в литературных источниках.

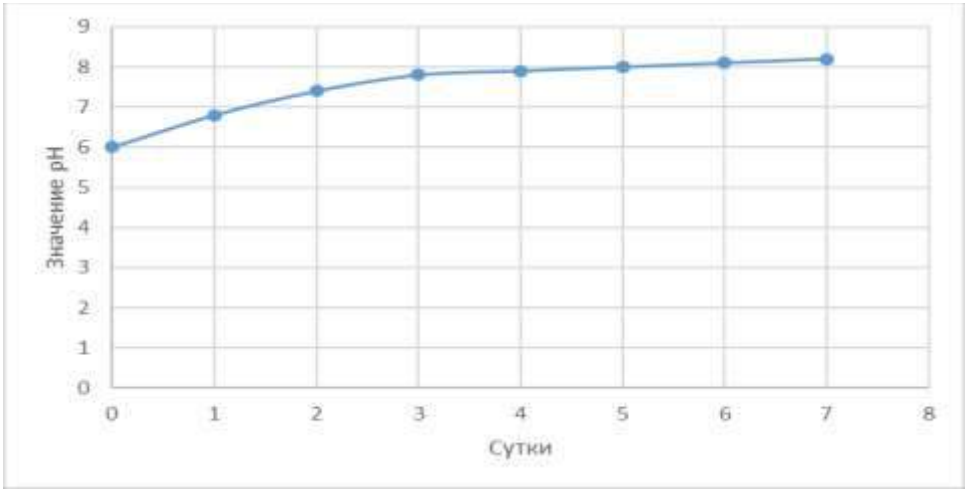


Рисунок 5 – Изменение водородного показателя pH в процессе роста *Chlorella vulgaris*
Figure 5 – Changes in pH during the growth of *Chlorella vulgaris*

Количественное описание экспериментальных результатов подразумевает расчёт или определение конкретных параметров роста микроводорослей. К кинетическим параметрам относят: продуктивность культуры или скорость роста (валовую, среднюю, максимальную), период удвоения биомассы или удельную скорость роста, скорость удаления субстрата из сточных вод, экономический коэффициент. В научной литературе представлены стандартизированные схемы расчета всех этих параметров на основе классических моделей роста микроорганизмов в условиях культивирования. Важным замечанием явля-

ется то, что для роста живого организма нужны исходный жизнеспособный посевной материал, источники энергии и углерода, питательные вещества для синтеза биомассы, отсутствие действия ингибиторов роста, соответствующие физико-химические условия ферментации (pH, температура, свет и др.) [12]. Некоторые из них представляют собой простые алгоритмы, такие как линейная регрессия по логарифмическим данным о биомассе, а другие более сложные модели, охватывающие многопараметрические взаимодействия, например модели Моно, Мозера, Иерусалимского или Михаэлис-Ментен, описывающие зависимость скорости роста от концентрации лимитирующего субстрата, или кинетические уравнения, учитывающие ингибирование и ферментативные механизмы [13, 14]. Подобные процессы также используются для обоснования проектов по работе очистных сооружений для нитрификации и денитрификации с использованием активного ила.

Одним из ключевых показателей роста микроводорослей является параметр их удельной скорости роста. По определению, удельная скорость роста показывает относительный прирост плотности культуры за малый промежуток времени:

$$\mu = \frac{\ln(N_2 - N_1)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

где: N_1 и N_2 – начальная и конечная концентрации за период времени t_2 и t_1 соответственно.

Удельная скорость роста планктонных микроводорослей наряду с первичной продукцией и биомассой фитопланктона относится к важнейшим показателям, отражающим состояние жизнеспособность водных гидробионтов.

По удельной скорости принято рассчитывать время удвоения биомассы $T_{удв}$:

$$T_{удв} = \frac{\ln(2)}{\mu} \quad (2)$$

Удельная скорость потребления субстрата (q_S) – показатель, который характеризует скорость потребления субстрата единицей биомассы (метаболический коэффициент), может быть рассчитана по следующей формуле:

$$q_s = \frac{(S_0 - S_1)}{t} \quad (3)$$

где: S_0 и S_1 – начальная и конечная концентрации субстрата за период времени.

Экономический коэффициент показывает, какая часть поглощённого субстрата идёт на приращение биомассы. Если рост микробной популяции ограничен определённым субстратом, то между начальной концентрацией внесённого в среду лимитирующего субстрата и полученным общим урожаем существует линейная зависимость. Поэтому масса клеток, образованная на единицу лимитирующего субстрата, представляет собой константу – экономический коэффициент, который рассчитывается по формуле:

$$Y = \frac{\mu}{q_s} \quad (4)$$

Данные кинетических характеристик Chlorella vulgaris приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Кинетические характеристики процесса выращивания культуры C. Vulgaris на коллекторно-дренажном стоке
Table 2 – Kinetic characteristics of the process of growing C. Vulgaris on collector-drainage runoff.

Показатель / Indicator	Удельная скорость роста μ, сут$^{-1}$ / Specific growth rate μ, day^{1}	Период удвоения, сут. / Doubling period, day	Удельная скорость потребления субстрата, мг/(л*сут) / Specific substrate consumption rate, mg/(L*day)	Экономический коэффициент / Economic coefficient
Удельная скорость роста / Specific growth rate	0,66	1,05	- 4,87	0,14

Для выявления закономерностей роста от различных факторов среды, необходимо проработать теорию о кинетических процессах роста культур, а также выявить закономерности с помощью относительно простых математических методов, которые позволят в дальнейшем оптимизировать биотехнологические процессы, связанные с очисткой сточных вод и производством полезной продукции.

Заключение. Результаты проведенных лабораторных исследований доказали эффективность использования зеленой микроводоросли для удаления органических и неорганических соединений в составе коллекторно-дренажного стока. Использование микроводоросли усиливало процессы деградации загрязнителей и показало высокую степень очистки сточных вод. Введение штамма *Chlorella vulgaris* BIN приводило к снижению содержания нитратного азота с 41 до 12 мг/л, что существенно ниже ПДК. Применение методики количественного описания позволяет выявить определенные закономерности в кинетике процессов. Полученные результаты могут являться материалом для физического моделирования с учетом факторов окружающего пространства, а затем стать основой для апробации существующих математических моделей. Chlorella vulgaris может быть рекомендована в качестве биологического агента для очистки КДС в открытых системах: прудах-отстойниках, прудах-накопителях и прудах-осветлителях, создавая на их основе высокопродуктивные водорослевые (биологические) проекты. Поскольку в открытых условиях данный процесс может быть сильно подвержен сезонным колебаниям, необходимо разработать комплексный инструмент, который должен прогнозировать эффективность мероприятий с учетом погодных изменений.

Conclusion. The results of the conducted laboratory studies proved the effectiveness of using green microalgae to remove organic and inorganic compounds from the collector-drainage runoff. The use of microalgae enhanced the degradation processes of pollutants and demonstrated high degree in wastewater treatment. The introduction of the Chlorella vulgaris BIN strain led to a reduction in nitrate nitrogen to 12 mg/L, which is significantly lower than the permissible limit. The use of quantitative description techniques allows for the identification of specific patterns in the kinetics of processes. The results obtained can serve as an extension of physical modeling, taking into account environmental factors, and then become the basis for testing existing mathematical models. Chlorella vulgaris can be recommended as a biological agent for the purification of CDR in open systems, such as settling ponds, storage ponds, and clarifying ponds, creating highly productive algal (biological) projects based on them.

Библиографический список

1. Сухаревич В. И., Поляк Ю. М. Глобальное распространение цианобактерий: причины и последствия (Обзор). Биология внутренних вод. 2020. № 6. С. 562-572.
2. Смирнова Т. С. и др. Исследование эффективности применения различных кальцийсодержащих реагентов для дефосфотации сточных вод. Экология и промышленность России. 2024. Т. 28. № 12. С. 8-12.
3. Дрововозова Т. И., Красовская Н. Н., Марьяш С. А. Конструкция локальных очистных сооружений очистки минерализованного дренажного стока с орошаемых земель. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5 (77). С. 336-343.
4. Примин О. Г., Шипков О. И. Мембранные технологии в водоподготовке. Системные технологии. 2025. № 1 (54). С. 60-69.
5. Игнатенко А. В. Анализ биологической очистки сточных вод и детоксикации активного ила очистных сооружений. Химическая безопасность. 2022. Т. 6. № 1. С. 21-46.
6. Ramírez Mérida L. G., Rodríguez Padrón R. A. Application of microalgae in wastewater: opportunity for sustainable development. Front. Environ. Sci. 2023. V. 11. Art. 1238640.
7. Тюменцева М. В., Ксенофонтов Б. С., Серов С. А. Использование микроводорослей Chlorella для удаления биогенных элементов и снижения мутности в природной воде. Безопасность жизнедеятельности. 2025. № 10 (298). С. 24-27.
8. Зибарев Н. В., Политаева Н. А., Андрианова М. Ю. Использование микроводорослей Chlorella sorokiniana (Chlorellaceae, Chlorellales) для очистки сточных вод пивоваренной промышленности. Поволжский экологический журнал. 2021. № 3. С. 262-271.
9. Акмуханова Н. Р. и др. Подбор перспективного штамма микроводорослей для биоремедиации сточных вод аквакультуры. Микробиология. 2022. Т. 91. № 5. С. 576-585.
10. Alzahmi A. S. et al. Enhancing algal production strategies: strain selection, AI-informed cultivation, and mutagenesis. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2024. V. 8. Art. No. 1331251.
11. Медведева Л. Н. и др. Синергетическая эффективность применения в прудовом предпринимательстве микроводоросли *chlorella vulgaris.* Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 9. С. 57-62.
12. Сучкова Е. П., Уваров Р. А., Основы биотехнологии. СПб: Университет ИТМО, 2021. 83 с.
13. Габриелян Д. А. и др. Лабораторная система для интенсивного культивирования микроводорослей и цианобактерий. Физиология растений. 2023. Т. 70. № 2. С. 202-213.
14. Чекушкин А. А., Гудвилович И. Н., Лелеков А. С. Продукционные характеристики *Spirulina platensis* и *Dunaliella salina* в Севастопольском регионе в осенний период. Вопросы современной альгологии. 2019. № 1 (19). С. 96-104.

References

1. Sukharevich V. I., Polyak Yu. M. Global distribution of cyanobacteria: causes and consequences (Review). Biology of Inland Waters. 2020. No. 6. Pp. 562-572.
2. Smirnova T. S. et al. Study of the effectiveness of using various calcium-containing reagents for the dephosphonation of wastewater. Ecology and Industry of Russia. 2024. V. 28. No. 12. Pp. 8-12.
3. Drovovozova T. I., Krasovskaya N. N., Maryash S. A. Design of Local Treatment Facilities for Purification of Mineralized Drainage Runoff from Irrigated Lands. Proceedings of the NV Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 5 (77). Pp. 336-343.
4. Primin O. G., Shipkov O. I. Membrane Technologies in Water Treatment. System Technologies. 2025. No 1 (54). Pp. 60-69.
5. Ignatenko A. V. Analysis of Biological Wastewater Treatment and Detoxification of Activated Sludge from Sewage Treatment Plants. Chemical Safety. 2022. V. 6. No. 1. Pp. 21-46.
6. Ramírez Mérida L. G., Rodríguez Padrón R. A. Application of microalgae in wastewater: opportunity for sustainable development. Front. Environ. Sci. 2023. V. 11. Art. 1238640.
7. Tyumentseva M. V., Ksenofontov B. S., and Serov S. A. Use of Chlorella microalgae for removal of biogenic elements and reduction of turbidity in natural water. Life Safety. 2025. No. 10 (298). Pp. 24-27.
8. Zibarev N. V., Politaeva N. A., Andrianova M. Yu. The use of microalgae Chlorella sorokiniana (Chlorellaceae, Chlorellales) for wastewater treatment of the brewing industry. Volga region ecological journal. 2021. No. 3. Pp. 262-271.
9. Akmukhanova N. R. et al. Selection of a promising microalgae strain for bioremediation of aquaculture wastewater. Microbiology. 2022. V. 91. No 5. Pp. 576-585.
10. Alzahmi A. S. et al. Enhancing algal production strategies: strain selection, AI-informed cultivation, and mutagenesis. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2024. V. 8. Art. No. 1331251.
11. Medvedeva L. N. et al. Synergistic Effectiveness of Using Chlorella Vulgaris Microalgae in Pond Entrepreneurship. Russian Agricultural Economics. 2020. No. 9. Pp. 57-62.
12. Suchkova E. P., Uvarov R. A., Fundamentals of Biotechnology. St. Petersburg: ITMO University, 2021. 83 p.
13. Gabrielyan D. A. et al. Laboratory system for intensive cultivation of microalgae and cyanobacteria. Plant Physiology. 2023. V. 70. No 2. Pp. 202-213.
14. Chekushkin A. A., Gudviloich I. N., Lelekov A. S. Production characteristics of Spirulina platensis and Dunaliella salina in the Sevastopol region during the autumn period. Issues of Modern Algology. 2019. No 1 (19). Pp. 96-104.

Информация об авторах

Стрижников Олег Александрович, соискатель, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 125008, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44), SPIN-код: 6250-5731; AuthorID: 1071520, ORCID 0000-0002-7425-8093, e-mail: oleg.strijnikov@yandex.ru

Author's Information

Strizhnikov Oleg Aleksandrovich, applicant, Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 125008, Moscow, B. Akademicheskaya Str., 44), SPIN-код: 6250-5731; AuthorID: 1071520, ORCID 0000-0002-7425-8093, e-mail: oleg.strijnikov@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-36

THE WILDFIRE EXTINGUISHING TECHNOLOGIES FOR USING IN THE SARATOV REGION FOREST-STEPPES AND STEPPES CONDITIONS

Tyutin A. V., Ivchenko O. A., Kozachenko M. A., Pankin K. E.

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

Corresponding author E-mail: texmexium@mail.ru

Received 09.02.2026 Submitted 15.06.2026

Summary

This work devotes to the effectiveness of forest fire suppression measures in the Saratov region and selects the most effective fire suppression methods for the forest-steppe and steppe zones. The effectiveness analysis was based on the processing of records and a summary of forest fire suppression experience, as well as an assessment of the impact of the climatic, natural, and forest vegetation conditions of the forest-steppe and steppe on suppression effectiveness. It is shown that the climatic and forest vegetation conditions of the studied region exclusively lead to surface forest fires, which are extinguished using ground-based means. Forest-steppe and steppe zones are characterized by a shortage of water suitable for extinguishing forest fires. Therefore, technologies that do not require a water supply should be prioritized, such as manual extinguishing with shovels, rakes, and fire crackers, as well as the use of soil throwers to stop the flames burning at the edge of surface forest fires. The use of water is necessary at later stages of providing assistance to forest firefighters and to combat sources of flameless combustion (smoldering) inside the fire site (using backpack fire extinguishers and forest fire blowers) and to prevent the re-emergence of the fire (using fire trucks or mobile fire systems).

Abstract

Introduction. The relevance of this study lies in its substantiation of the implementation of technical stages for extinguishing forest surface fires in forest-steppe and steppe zones, which differ in their forest growth conditions and access to water sources for extinguishing. This will improve the effectiveness of forest firefighters, as well as the involvement of firefighters and firefighting equipment from other sources, such as

volunteers, municipalities, and firefighters. **Materials and methods.** A statistical study was conducted on the use of forces and equipment for extinguishing forest surface fires in the Saratov Region, as recorded in forest fire extinguishing protocols for the study period. **Research results.** Information on the forces and equipment involved in extinguishing surface fires was collected and processed. It was shown that the use of powerful fire extinguishing equipment, such as fire trucks, in forest-steppe and steppe is ineffective due to a lack of water in various water sources. Therefore, it is proposed to use technologies that do not require water consumption in the early stages of extinguishing forest surface fires. Fire trucks and mobile fire systems should only be used in the later stages of extinguishing: guarding and finishing, but only if water delivery to the site of the forest fire is organized.

***Keywords*:** wild fires, forest-steppes, steppes, fire extinguishing forces, fire extinguishing means, fire extinguishing technologies.

Citation. Tyutin A. V., Ivchenko O. A., Kozachenko M. A., Pankin K. E. The wildfire extinguishing technologies for using in the Saratov region forest-steppes and steppes conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 321-333 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-36.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 614.84+630*43

ТЕХНОЛОГИИ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОНАХ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Тютин А. В., *старший преподаватель*
Ивченко О. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
Козаченко М. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
Панкин К. Е., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова»
г. Саратов, Российская Федерация

Аннотация. Представленная работа посвящена оценке эффективности мероприятий по тушению лесных пожаров в Саратовской области и выбору наиболее эффективных способов тушения для лесостепной и степной зон. Анализ эффективности проводился на основе обработки протоколов и обобщения опыта тушения лесных пожаров, а также оценки влияния климатических, природных и лесорастительных условий лесостепи и степи на эффективность тушения. Показано, что климатические и лесорастительные условия исследуемого региона приводят исключительно к лесным низовым пожарам, тушение которых осуществляется наземными средствами. Лесостепь и степь характеризуются недостатком воды, пригодной для тушения лесных пожаров, в связи с этим на первый план должны выходить технологии, которые не нуждаются в обеспечении водой: тушение ручными средствами с применением лопат, грабель и пожарных хлопушек, а также применение грунтометов для прекращения пламенного горения кромки низового пожара. Применение воды необходимо осуществлять на более поздних стадиях тушения: для борьбы с очагами беспламенного горения (тления) внутри горельника (с помощью ранцевых огнетушителей и лесопожарных воздуходувок) и предотвращения повторного возникновения пожара (с помощью пожарных автоцистерн или мобильных пожарных комплексов). **Актуальность** исследования заключается в обосновании реализации технических этапов тушения низовых лесных пожаров в лесостепной и степной зонах, отличающихся по своим лесорастительным условиям и доступу к источникам воды. Это позволит повысить эффективность действий лесных пожарных, а также оптимизировать привлечение сил и средств из других источников: волонтеров, муниципалитетов и противопожарных служб. **Материалы и методы.** Проведено статистическое исследование применения сил и средств тушения низовых лесных пожаров в Саратовской области, информация о которых внесена в протоколы тушения за исследуемый период. **Результаты исследований.** Собрана и обработана информация о силах и средствах, участвовавших в тушении низовых лесных пожаров. Показано, что применение мощных средств тушения пожаров – пожарных автоцистерн – в лесостепях и степях малоэффективно в связи с дефицитом воды в природных водоемах. В связи с этим предложено на ранних стадиях тушения низового пожара применять технологии, не требующие расхода воды. Пожарные автоцистерны и мобильные пожарные комплексы целесообразно применять только на поздних стадиях тушения: окарауливание и дотушивание, при условии организации доставки воды к месту тушения лесного пожара.

Ключевые слова: *лесные пожары, лесостепная зона, степная зона, силы тушения пожаров, средства тушения пожаров, технологии тушения пожаров.*

Цитирование. Тютин А. В., Ивченко О. А., Козаченко М. А., Панкин К. Е. Технологии тушения лесных пожаров в лесостепной и степной зонах Саратовской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 321-333. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-36.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Тушение лесных пожаров – третий, но не заключительный этап комплекса мероприятий, называемого «борьбой с лесными пожарами». Ежегодно в Российской Федерации (РФ) регистрируется от 30 до 40 тыс. лесных пожаров с общим ущербом около 20 млрд руб. Большая часть лесных пожаров и, соответственно, ущерб от них регистрируются в Сибири, в то время как в Европейской части регистрируется 2-3 тыс. лесных пожаров (ЛП) по данным (*БУ «Авиалесохрана» (https://aviales.ru/)*. Согласно Федеральному закону № 200-ФЗ «Лесной кодекс РФ», их тушение обязана осуществлять лесоуправляющая или лесоэксплуатирующая организация (лесничество или лесхоз), а при недостатке имеющихся средств к тушению привлекаются силы и средства муниципалитетов, государственной противопожарной службы, волонтеры и т. п.

Под тушением ЛП понимается набор процедур, которые ведут к прекращению горения (взаимодействия горючего материала с кислородом воздуха) описанных в [1], а также в (*Щетинский Е. А., Спутник руководителя тушения лесных пожаров. М.: Изд-во ВНИИЛМ. 2003; Справочник добровольного лесного пожарного. https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf*). Все ЛП разделяются на верховые, низовые и подземные. Лесорастительные и метеорологические условия определяют вид пожара и его интенсивность. Так, согласно сведениям *ФБУ «Авиалесохрана» (https://aviales.ru/),* можно представить следующее распределение видов ЛП по типам лесорастительных зон Российской Федерации (таблица 1).

Таблица 1 – Виды лесных пожаров в зависимости от типа лесорастительной зоны
Table 1 – Wild fires types depends on forest vegetation type

Лесорастительная зона / Forest-growing zone	Виды лесных пожаров / Types of forest fires
Таежная зона / Taiga zone	Верховые, низовые, подземные (почвенные) / Crown, surface, and ground
Зона хвойно-широколиственных лесов / Zone of coniferous-broad-leaved forests	Верховые, низовые, подземные (почвенные) / Crown, surface, and ground
Лесостепная зона / Forest-steppe zone	Низовые / Surface
Степная зона / Steppe zone	Низовые / Surface

Причиной представленного в таблице 1 являются особенности природных и климатических условий, которые формируют лесистость и типы лесов, которые, в свою очередь, формируют лесопожарную обстановку и виды ЛП. Понятно, что тактика и выбор способов и средств тушения будут зависеть как от вида ЛП, так и от типа лесорастительной зоны [1-9]. Например, тушение лесных низовых пожаров (ЛНП) осуществляется наземными средствами, а к тушению верховых пожаров привлекают пожарную авиацию. Кроме этого, способы тушения ЛП отличаются от способов тушения техногенных пожаров, что заметил И. С. Мелехов (*И. С. Мелехов, Лесные пожары и борьба с ними. Архангельск, 1935)*. В таблице 2 представлена последовательность действий, выполнение которой ведет к успешному тушению ЛНП и техногенного пожара.

Принципиальное отличие тушения ЛНП от техногенного заключается в том, что в последнем локализация пожара предшествует его тушению, а остальные этапы те же. Различия в последовательности этапов заключаются в различной смысловой наполненности терминов. *Локализация техногенного пожара* – это ограничение его роста и распространения, которое предшествует полному прекращению горения. В случае ЛНП, его тушение предшествует локализации из-за того, что трудно гарантировать полное прекращение горения по всей длине кромки. Поэтому для предотвращения дополнительного ущерба от повторного возникновения ЛНП производят его *локализацию* – опахивание кромки по ее внешней стороне до обнажения минерального слоя почвы.

Таблица 2 – Последовательность действий для тушения техногенного и лесного низового пожаров
Table 2 – Comparison of fire extinguishing procedures for wild and technogenic types of fire

Тушение лесного (ландшафтного) низового пожара* / Extinguishing a forest (landscape) surface fire*	Тушение техногенного пожара** / Extinguishing a man-made fire**
1. Остановка кромки пожара / Stopping the edge of the fire	1. Локализация пожара / Fire localization
2. Локализация пожара заградительной минерализованной полосой / Localizing the fire with a barrier mineralized strip	2. Тушение пожара / Fire extinguishing
3. Дотушивание очагов горения внутри пожара / Extinguishing the fire sources inside the fire	3. Дотушивание очагов горения внутри пожара / Extinguishing the fire sources inside the fire
4. Окарауливание пожара / Guarding the fire	4. Окарауливание пожара / Guarding the fire

*Мелехов И. С., Лесные пожары и борьба с ними. Архангельск, 1935.
**Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожаров. Тактические возможности пожарных подразделений. Москва, 2004.
*Melekhov I. S., Forest Fires and Their Control. Arkhangelsk, 1935.
**Terebnev V. V. Handbook of Firefighting Manager. Tactical Capabilities of Fire Units. Moscow, 2004.

За последние 100 лет, согласно *И. С. Мелехову (Лесные пожары и борьба с ними. Архангельск, 1935*) и [1], способы тушения ЛНП не изменились. В общем виде все приемы тушения можно разделить на две группы: *прямые* и *косвенные*. *Прямой способ* тушения («непосредственная атака» по И.С. Мелехову) предполагает непосредственное воздействие на кромку низового пожара с целью прекращения процесса горения. Это может быть осуществлено двумя путями: 1) с расходованием огнетушащих средств и 2) без их расходования. Первый реализуется либо *охлаждением* зоны горения водой, либо *изоляцией* – засыпкой зоны горения грунтом, или сбиванием пламени пожарной хлопушкой, или подручными средствами – пучками ветвей лиственных деревьев. При *косвенном способе* («организация заградительной линии» по И. С. Мелехову) тушения ЛНП прекращают подачу лесных горючих материалов (ЛГМ) в зону горения, путем их удаления с участка ландшафта до обнажения минерального слоя почвы, вспашки лесной почвы, сдвига или перемещения слоя ЛГМ вручную или механизировано [10]. Также к *косвенному способу* относят встречный пал – отжиг участка местности перед фронтом ЛНП (*Щетинский Е. А., Спутник руководителя тушения лесных пожаров. М.: Изд-во ВНИИЛМ. 2003; Справочник добровольного лесного пожарного, https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf*). Оба перечисленных способа имеют ряд преимуществ и недостатков. Так, непосредственная атака (*прямой способ*) создает риск для лесных пожарных, добровольцев и волонтеров. Организация заградительной линии (*косвенный способ*) может оказаться бесполезной при изменении условий, что повлияет либо на скорость распространения ЛНП, либо на его направление. Для повышения эффективности тушения применяют сочетание указанных способов. Для осуществления перечисленных этапов (таблица 2) применяют специальное оборудование – средства тушения лесного пожара (СТЛП), с помощью которых осуществляется прекращение горения. Для осуществления тушения может быть применена физическая сила человека, тогда такие СТЛП относят к ручным, или механическая сила двигателя внутреннего сгорания, приводящая в действие насос или метатель. Такие СТЛП относят к механизированным.

Ряд регионов Центрального, Приволжского и Южного федеральных округов являются малолесными, для которых характерны именно ЛНП. Рекомендации по их тушению в краткой форме представлены в [1] и в (*Щетинский Е. А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров. М.: Изд-во ВНИИЛМ. 2003; Справочник добровольного лесного пожарного. https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf*) – методических разработках и справочниках, составленных на основе опыта тушения ЛНП в таежной зоне и зоне хвойно-широколиственных лесов. Из-за значительной разницы в климатических, погодных, природных, лесорастительных условиях между таежной и степной зонами эффективность применения одних и тех же технологий и средств будет различной, что может повлечь ошибки в планировании привлечения сил и средств к тушению ЛНП, а также низкую эффективность тактических приемов. К тому же, в работе [3] отмечено, что не для всех СТЛП (особенно новых) имеются надежные данные об их производительности в различных типах лесорастительных условий. Указанный недостаток частично устранен в работе [11], в которой было показано, что производительность сил и средств для тушения ЛНП в лесостепи и степи Саратовской области в среднем в 5-10 раз ниже, чем это указано в справочниках (*Щетинский Е. А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров. М.: Изд-во ВНИИЛМ. 2003; Справочник добровольного лесного пожарного. https://aviales.ru/files/documents/2013/02 /spravochnik.pdf*). Для разработки рекомендаций по тушению ЛНП для малолесных регионов необходимо выявить недостатки и пересмотреть подходы к тушению ЛНП с уче-

том местных условий (лесостепной и степной зон). В связи с вышеизложенным целью данной работы является выявление наиболее эффективных приемов и средств тушения ЛНП для климатических и лесорастительных условий Саратовской области.

Материалы и методы. Исследованию подверглось содержимое протоколов тушения ЛП в Саратовской области в период 2015-2023 гг. Проведен статистический анализ привлечения сил и средств к тушению лесных пожаров за исследуемый период. Распределение регионов ЕЧ РФ по лесорастительным зонам осуществлялось согласно приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 367 от 18 августа 2014 года. Информация о климатических особенностях региона и количестве осадков в течение теплого периода года (ТПГ) была взята из актуальных лесных планов регионов Европейской части РФ.

Результаты и обсуждение. В Саратовской области, в течение исследуемого периода (2015-2023 гг.) наблюдались только единичные пожары с признаками верховых, подземные пожары не случаются из-за отсутствия крупных торфяных полей, таким образом, низовые пожары составляют абсолютное большинство (99,9 %) [11]. Такое распределение видов ЛП в исследуемом регионе полностью отвечает лесорастительным условиям, характерным для малолесных регионов (лесистость региона составляет 6,5 %), что связано с тем, что по территории региона проходит граница лесостепной и степной зон. Из-за таких природных условий в Саратовской области не размещены подразделения ФБУ «Авиалесохрана» и к тушению ЛП не привлекается пожарная авиация. Исходя из этого, в регионе необходимо сосредоточиться на тушении ЛНП и мероприятиях по их совершенствованию.

Для тушения ЛНП в работах [1] и (*Щетинский Е. А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров. М.: Изд-во ВНИИЛМ. 2003; Справочник добровольного лесного пожарного. https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf*) приведены краткие рекомендации о применении технологических приемов, технических и огнетушащих средств на разных технологических этапах тушения, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технологические этапы и соответствующие им техническое обеспечение тушения лесного пожара
Table 3 – Technological stages and corresponding technical support for wild fire fighting

№ п/п	Технологический этап / Technological stage	Оборудование / Equipment	Огнетушащий состав / Fire-extinguishing composition
1	Остановка кромки пожара / Stopping the edge of the fire	- пожарная автоцистерна / fire tank truck	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)
		- мобильный пожарный комплекс / mobile fire complex	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)
		- грунтомет / soil blower	Грунт / Soil
		- механизированные средства (мотопомпы) / mechanized means (motor pumps)	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)
		- лесопожарная воздуходувка / forest fire blower	Струя воздуха / тонкораспыленная вода / Air jet / finely sprayed water
		- ручные средства: ранцевые огнетушители / manual means: backpack fire extinguishers	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)
		- ручные средства: лопаты / manual means: shovels	Грунт / Soil
		- ручные средства: грабли / manual means: rakes	-
		- ручные средства: пожарные хлопушки / manual means: fire crackers	-
2	Локализация пожара заградительной минерализованной полосой / Localizing the fire with a mineralized barrier strip	- трактор с плугом (типа ПКЛ) / tractor with a plow (type PKL)	-
		- грунтомет / soil blower	Грунт / Soil
		- ручные средства: лопаты / manual means: shovels	Грунт / Soil
3	Дотушивание очагов горения внутри пожара / Extinguishing the burning spots inside the fire	то же что и в технологическом этапе № 1 / the same as in technological stage 1	
4	Окарауливание пожара / Guarding the fire	то же что и в технологическом этапе № 1 / the same as in technological stage 1	

Различия применяемых СТЛП заключаются как в применении огнетушащего состава, так и в том, что приводит СТЛП в действие. Для тушения ЛНП наиболее часто рекомендуют применять воду с добавлением смачивателя или без него, которыми необходимо обеспечивать лесных пожарных. Тем не менее, не все рекомендуемые технологические приемы тушения ЛНП требуют расходования огнетушащих средств. Так, применение ручных средств (грабли и пожарные хлопушки) не зависит от обеспечения лесного пожарного водой; то же самое верно в случае опахивания кромки низового пожара специальным плугом (типа ПКЛ-70 или аналогичного), а также применения бульдозера или механических лесных грабель [10]. Среди представленных СТЛП особое место занимает оборудование, применяющее грунт для тушения ЛНП, так как на местности в нем нет недостатка, хотя многое в его применении зависит от его количественных и качественных характеристик: твердости, плотности, наличия камней и их размера, крупных корней деревьев и т. п. Следует подчеркнуть, что между стадиями тушения, дотушивания и окарауливания нет никакого различия в обеспеченности процессов тушения ЛНП оборудованием, т.к. деятельность по тушению ЛП будет продолжаться до полной его ликвидации, аналогично техногенным пожарам (*Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожаров. Тактические возможности пожарных подразделений. Москва, 2004*).

Анализ литературы [1] и (*Щетинский Е. А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров. М.: Изд-во ВНИИЛМ. 2003; Справочник добровольного лесного пожарного. https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf*) показал, что наиболее эффективными и мощными СТЛП являются пожарные автоцистерны (АЦ) и мобильные пожарные комплексы (МПК), которые способны обеспечить тушение кромки ЛНП со скоростью > 1000 м/ч. На втором месте располагаются лесопожарные мотопомпы способные обеспечить высокую скорость тушения 350-700 м/ч. Понятно, что эффективность тушения указанных средств является результатом комплекса факторов, а именно одновременного огнетушащего действия воды и механизации ее подачи в зону горения. Это нетрудно показать тем, что скорость тушения кромки лесного пожара лесным ранцевым огнетушителем ограничена 100-150 м/ч, что значительно ниже механизированных средств, несмотря на постоянно проводимые усовершенствования [6, 12]. Ручные СТЛП, такие как подручные средства, лопаты, грабли способны обеспечить скорость тушения только 50-70 м/ч и ниже.

Для применения воды при тушении ЛНП необходимо обеспечить ею лесных пожарных в полном объеме. Тем не менее, сделать это не всегда возможно, так как ЛНП происходят в теплый период года (ТПГ), когда на местности, особенно в лесостепной и степной зонах, наблюдается острый недостаток воды. Для выявления возможности обеспечить лесное пожаротушение водой было исследовано распределение среднего количества атмосферных осадков за ТПГ в регионах европейской части РФ (ЕЧ РФ). Для удобства представления результатов регионы ЕЧ РФ были распределены по лесорастительным (таежной, хвойно-широколиственных лесов, лесостепной и степной (рисунок 1)) и климатическим зонам (арктической, морской, умеренно-континентальной, субтропической, континентальной и засушливой (рисунок 2)) зонам.

Из представленных результатов видно (рисунок 1), что при переходе от таежной зоны к степной среднее количество атмосферных осадков за ТПГ снижается, в среднем, практически в два-три раза. В свою очередь, распределение осадков по климатическим зонам (рисунок 2) показывает, что минимальное количество осадков в ТПГ наблюдается в арктической, континентальной и засушливой зонах, т. е. именно там, где наблюдается низкая лесистость местности. Таким образом, есть вполне определенная связь между количеством осадков, климатическими условиями и типом лесорастительной зоны.

В ТПГ в лесостепной и степной зонах наблюдается дефицит воды в природных источниках – ручьи и малые реки пересыхают, в крупных водоемах понижается уровень воды, оставшаяся вода заиливается и ее уже невозможно закачать насосами и применять для тушения ЛНП. Исходя из этого, в малолесных регионах актуальными будут лишь те технологии, которые либо не нуждаются в обеспечении водой, либо позволяют максимально снизить ее расход [6, 12]. В противном случае, будет необходимо обеспечить доставку воды к месту тушения ЛНП в достаточном количестве. Применение же АЦ(Л) и МПК штатном варианте в условиях засухи не будет столь же эффективно как отмечено в работе [11], что закономерно приведет к необходимости пересмотра скоростей тушения кромки ЛНП с их применением.

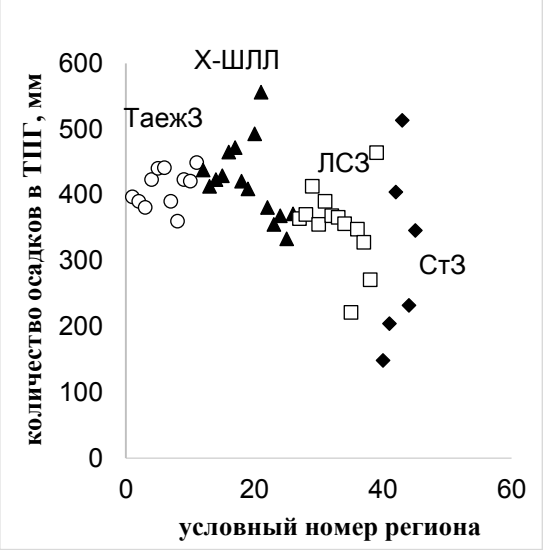


Рисунок 1 – Количество осадков в ТПГ в зависимости от типа лесорастительной зоны (ТаежЗ – таежная зона, Х-ШЛЛ – зона хвойно-широколиственных лесов, ЛСЗ – лесостепная зона, СтЗ – степная зона)
Figure 1 – The amount of precipitation in the warm period vs the forest vegetation type (ТаежЗ – taiga, Х-ШЛЛ – coniferous-broadleaf forests, ЛСЗ – forest-steppe, СтЗ – steppe)

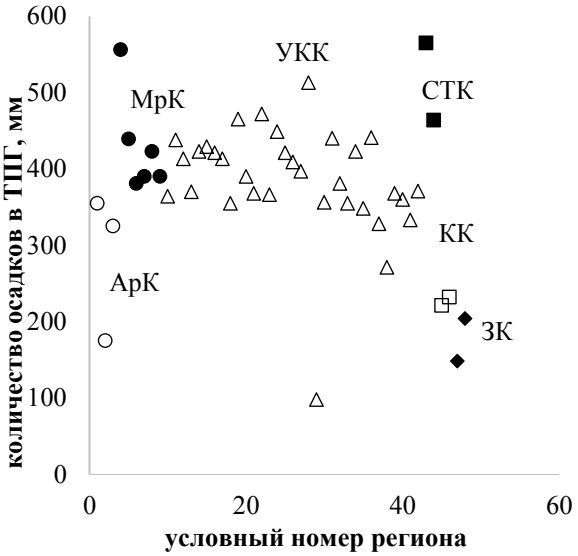


Рисунок 2 – Количество осадков в ТПГ в зависимости от типа климатической зоны (АрК – арктический климат, МрК – морской климат, УКК – умеренно-континентальный климат, СТК – субтропический климат, КК – континентальный климат, ЗК – засушливый климат)
Figure 2 – The amount of precipitation in the warm period vs the type of climate (АрК – arctic climate, МрК – maritime climate, УКК – temperate continental climate, СТК – subtropical climate, КК – continental climate, ЗК – arid climate)

Применение (лесо)пожарных автоцистерн (АЦ(Л)). С точки зрения [3-5], наиболее мощным средством для тушения пожаров является АЦ(Л). Она оснащена пожарным насосом, чаще всего ПН-30(40), и собственным запасом воды (1,6-8 м^3). В таблицах 4 и 5 представлены результаты привлечения сил и средств к тушению ЛНП.

Таблица 4 – Статистические данные привлечения сил и средств к тушению ЛНП в Саратовской области за 2015-2023 гг.
Table 4 – Statists of the firefighters and equipment deployers for surface fires extinguishing in the Saratov region for 2015-2023

Источник / Source	Доля от общего числа привлеченных сил и средств, % / Share of the total number of forces and resources involved, %					
	АЦ(Л) / (forest) fire truck	МПК / mobile fire complex	ПриспТ / adapted equipment	ТрП / tractor with a plow	РучСр / manual tools	Силы / Forces – forest firefighters
Лесничество / Forestry	0,64	0,96	0	0,57	26,53	8,81
Лесхоз / Forestry	40,26	96,15	56,84	79,43	46,11	41,49
Волонтеры / Volunteers	0,96	0	7,37	10,86	7,37	6,51
Муниципалитеты / Municipalities	11,82	1,92	31,58	8,57	10,74	11,90
МинОбор / Ministry of Defense	7,67	0,96	3,16	0,57	6,11	17,96
ГПС / City Patrol Services	37,06	0	0	0	0,21	11,63
СарСпас / Saratov Department of Rescuers	1,60	0	1,05	0	2,11	1,10
Полиция / Police	0	0	0	0	0,84	0,59

Примечание: АЦ(Л) – (лесо)пожарная автоцистерна; МПК – мобильный пожарный комплекс; ПриспТ – приспособленная техника; ТрП – трактор с плугом, РучСр – ручные средства; Силы – лесные пожарные.
Note: AC(L) – (forest) fire truck; MPC – mobile fire complex; PrispT – adapted equipment; TrP – tractor with a plow, RuchSr – manual tools; Forces – forest firefighters.

Таблица 5 – Статистические данные привлечения сил и средств к тушению ЛНП в Саратовской области за 2015-2023 гг. (расчет на один лесной пожар)
Table 5 – Statists of the firefighters and equipment deployers for surface fires extinguishing in the Saratov region for 2015-2023 (calculation per one surface fire)

Источник / Source	Доля сил и средств в расчете на один ЛНП, безразм. / Share of forces and resources per LNP, indeterminate					
	АЦ(Л) / (forest) fire truck	МПК / mobile fire complex	ПриспТ / adapted equipment	ТрП / tractor with a plow	РучСр / manual tools	Силы / Forces – forest firefighters
Лесничество / Forestry	0	0	0	0	0,43	1,66
Лесхоз / Forestry	0,43	0,34	0,18	0,47	0,74	7,82
Волонтеры / Volunteers	0	0	0	0,06	0,12	1,23
Муниципалитеты / Municipalities	0,13	0	0,10	0,05	0,17	2,24
МинОбор / Ministry of Defense	0,08	0	0	0	0,10	3,39
ГПС / City Patrol Services	0,39	0	0	0	0	2,19
СарСпас / Saratov Department of Rescuers	0	0	0	0	0	0,21
Полиция / Police	0	0	0	0	0	0,11

Из представленных результатов понятно, что привлечение АЦ(Л) к тушению ЛНП осуществляется либо лесхозами, либо подразделениями Государственной противопожарной службы (ГПС), а в отдельных случаях муниципалитетом, Министерством обороны РФ и волонтерами – крупными крестьянско-фермерскими хозяйствами. Такое распределение не случайно, для организации тушения ЛНП лесхозы специально оснащаются АЦ(Л), однако, в условиях лесостепи и степи, эффективность их действий требует значительного пересмотра. К тому же, привлечение к тушению дополнительных сил в виде звеньев ГПС на АЦ принципиально картину эффективности тушения ЛНП не меняет [11]. На это есть объективные причины. Во-первых, АЦ(Л) спроектированы именно для борьбы с техногенными пожарами, которые в отличие от ЛНП обладают многократно большей пожарной нагрузкой – количеством тепла, выделяющейся с единицы площади пожара. Для тушения таких пожаров применяется компактная водяная струя. Пожарно-техническое вооружение (ПТВ) АЦ(Л) как раз и предназначено для ее создания. В случае ЛНП пожарная нагрузка в пределах кромки невелика и получается, что штатная подача воды в зону горения – избыточная – что приводит к ее перерасходу (*Теребнев В. В. Справочник руководителя тушения пожаров. Тактические возможности пожарных подразделений. Москва, 2004*). Компенсировать указанный недостаток может только обеспечение непрерывности подачи воды в зону горения, что в засушливых условиях осуществить невозможно. Тогда, эффективность тушения ЛНП с помощью АЦ(Л) будет зависеть не от мощности подачи воды, а от эффективности ее доставки к месту тушения ЛНП. Осуществлять доставку с помощью АЦ(Л) не целесообразно, т.к. добиться высокой скорости тушения помешают требования к организации тушения пожара, изложенные в Приказе МЧС России № 777 от 16.09.2024, в котором указано, что перед тушением пожара необходимо проводить боевое развертывание, а после тушения необходимо собрать и уложить все принадлежащее пожарному расчету ПТВ в АЦ(Л). При тушении ЛНП запас воды в АЦ(Л) заканчивается быстрее, чем достигается само тушение. В этом случае, затраты времени на подготовку к тушению и последующему движению к водному источнику отнимают значительно большую часть времени, чем само тушение.

Применение мобильных пожарных комплексов (МПК). Мобильные пожарные комплексы (МПК) – перспективная лесопожарная техника, создаваемая на базе мототехники, легковых автомобилей, колесных тракторов и т. п. [1, 8, 9]. Главное отличие, МПК от АЦ(Л) заключается в применении пожарных насосов высокого давления, обладающих минимальным расходом воды (0,67 л/с через гидропульт, против 7,2 л/с через пожарный ствол типа А), что повышает эффективность ее расходования. Распределение привлечения МПК к

тушению ЛНП в Саратовской области представлено в таблицах 4 и 5, которые показывают, что это специальная лесопожарная техника, которой обладают только лесхозы, однако, их применение осуществляется только на каждом третьем ЛНП.

Применение приспособленной техники (ПриспТ). Приспособленную технику применяют тогда, когда испытывают нехватку табельных средств тушения. К приспособленной технике относят все то, что способно: 1) доставлять воду к месту тушения пожара (коммунальное оборудование, автотопливоразливщики, мягкие и жесткие пластиковые емкости, размещенные в грузовых автомобилях и т. п.), 2) выполнять необходимые технологические операции – удалять растительность (бульдозеры), прокладывать траншеи (экскаваторы, траншеепрокладыватели) и т. п. В таблицах 4 и 5 представлены источники для привлечения ПриспТ: лесхозы (20 % случаев) и муниципалитеты (10 % случаев). Таким образом, доставка воды к месту тушения ЛНП осуществляется с помощью ПриспТ в совокупности с АЦ(Л) и МПК.

Применение трактора с плугом (ТрП). Трактор с плугом обязательная составляющая оборудования для тушения ЛНП (см. таблицу 3), т.к. место ЛНП нуждается в локализации, которая осуществляется уже после прекращения пламенного горения с целью недопущения повторного возникновения и распространения ЛНП. Поэтому кромку ЛНП опахивают по внешнему периметру с помощью ТрП. Для этого могут использовать как колесные, так и гусеничные тракторы, которые агрегатируют с пожарными плугами (типа ПКЛ). Впрочем, на практике применяют любые подходящие конструкции плугов. В таблицах 4 и 5 показано, что их чаще всего предоставляют лесхозы, волонтеры (КФХ) и муниципалитеты. Однако, если отнести количество случаев привлечения ТрП к числу ЛНП (таблица 5), то становится видно, что это происходит в менее чем в половине случаев. Как показывает опыт тушения ЛНП, последнее не является нарушением инструкций, а есть результат пересеченного характера местности в правобережье Саратовской области (наиболее лесистой части региона), труднодоступной как для колесной, так и для гусеничной техники.

Применение ручных средств (РучСр). Ручные СТЛП обладают рядом преимуществ, таких как дешевизна, маневренность, отсутствие требований к специализированным навыкам для их применения и т. п. Результаты, представленные в таблицах 4 и 5 показывают, что основную роль в тушении ЛНП в Саратовской области играют именно РучСр, применяемые сотрудниками лесхозов и лесничеств, а помощь им оказывают муниципалитеты, военнослужащие и волонтеры.

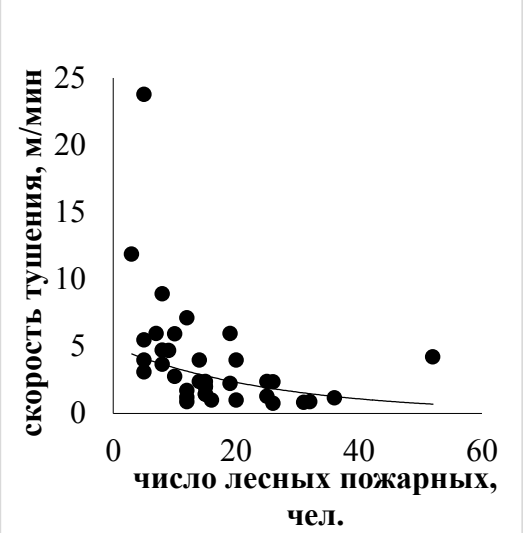


Рисунок 3 – Зависимость скорости тушения пожара от численности пожарных в Саратовской области (2015-2023 гг.)
Figure 3 – Surface fire extinguishing rate vs the amount of firefighters in Saratov Region (2015-2023)

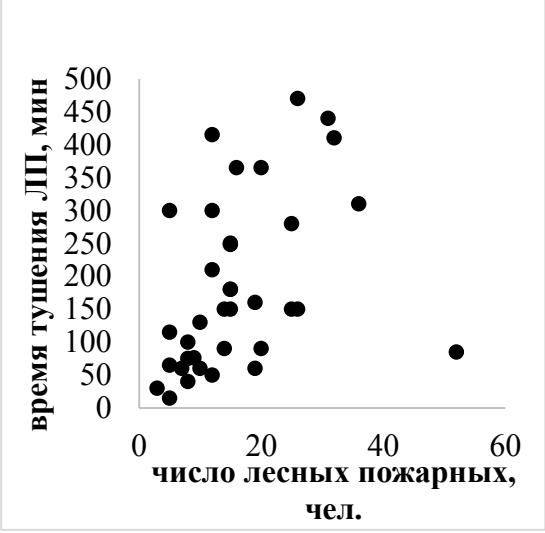


Рисунок 4 – Зависимость времени тушения пожара от численности пожарных в Саратовской области (2015-2023 гг.)
Figure 4 – Surface fire extinguishing time vs the amount of firefighters in Saratov Region (2015-2023)

Следует отметить, что тушение ЛНП в природных условиях Саратовской области с помощью ручных средств (лопаты, грабли, пожарные хлопушки и т. п.) самое медленное (20-60 м/ч) [11], а это означает, что для увеличения скорости тушения ЛНП необходимо увеличивать численность группировки. Впрочем, большая группировка сил и средств обязательно будет испытывать проблемы с оснащением и управлением ее действиями. Для проверки данного утверждения на рисунках 3 и 4 представлены зависимости скорости тушения (рисунок 3) и времени тушения ЛНП (рисунок 4) от численности группировки.

Из представленных результатов видно, что численность привлеченной к тушению отдельного ЛНП группировки за период 2015-2023 гг. в регионе не превышала 50 человек. Кроме этого, результаты показывают, что увеличение численности группировки приводит к снижению скорости и увеличению времени тушения ЛНП. Это свидетельствует о сложности характера тушения ЛНП, где многое зависит и от мастерства пожарных, и от своевременности принятых мер. Кроме этого, увеличение численности группировки закономерно ведет к снижению эффективности ее управления, особенно если силы тушения пожара привлекаются из организаций разной ведомственной принадлежности. В этом случае, между разными ведомствами возникает конфликт целей и способов их достижения. Так, руководителем тушения ЛНП является представитель лесхоза – его цель: скорейшее тушение ЛНП. Присланное в помощь подразделение ГПС во главе с начальником караула преследует свою цель – защиту населенных пунктов от ЛНП. Такое расхождение целей в общем не способствует повышению эффективности. Поэтому утверждение, что на пожаре «лишних рук не бывает», для лесостепной и степной зон Саратовской области не актуально. Анализ информации, представленной в таблице 5, показывает, что оптимально привлекать группировку численностью 10-15 человек, так как в среднем на один ЛНП от лесхозов направляют 8 человек, по 2 человека от лесничества и муниципалитета и 3 человека от ГПС или Минобороны РФ.

Таким образом, опыт тушения ЛНП в условия лесостепи и степи Саратовской области показывает, что наиболее эффективными СТЛП являются ручные: лопаты, грабли, пожарные хлопушки и т. п. В отдельных случаях, необходимо привлекать АЦ(Л) или МПК, но только в сочетании с ПриспТ для доставки воды. Тогда информацию, представленную в таблице 3, необходимо видоизменить для лесостепной и степной зон (таблица 6).

Таблица 6 – Технологические операции и соответствующие им техническое обеспечение при тушении ЛНП в лесостепной и степной зонах
Table 6 – Wild surface fire extinguishing operations and corresponding technical equipment in forest-steppe and steppe

№ п/п	Технологический этап / Technological stage	Оборудование / Equipment	Огнетушащий состав / Fire extinguishing composition	Скорость тушения**, м/ч / Fire extinguishing speed**, m/h
1	2	3	4	5
1	Остановка кромки пожара / Stopping the edge of the fire	ручные средства: лопаты / hand tools: shovels	грунт / soil	20…40
		ручные средства: грабли / hand tools: rakes	-	30…50
		ручные средства: пожарные хлопушки / hand tools: fire-crackers	-	10…15
		ручные средства: ранцевые огнетушители* / hand tools: backpack fire extinguishers*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	40…80
		грунтомет / soil ejector	грунт / soil	200…400
		мобильный пожарный комплекс* / mobile fire complex*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	300…500
		пожарная автоцистерна* / fire truck*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	200…350
2	Локализация пожара заградительной минерализованной полосой / Localizing the fire with a mineralized barrier	трактор с плугом (типа ПКЛ) / tractor with plow (type PKL)	-	-
		грунтомет / soil ejector	грунт / soil	300…400
		ручные средства: лопаты / hand tools: shovels	грунт / soil	20…40

Окончание таблицы 6

1	2	3	4	5
3	Дотушивание очагов горения внутри пожара / Extinguishing the fire inside the fire	ручные средства: ранцевые огнетушители* / manual tools: backpack fire extinguishers*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	40…80
		лесопожарная воздуходувка* / forest fire blower*	Струя воздуха / тонкораспыленная вода / Air jet / finely sprayed water	90…120
		механизированные средства (мотопомпы)* / mechanized tools (motor pumps)*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	50…75
4	Окарауливание пожара / Guarding the fire	ручные средства: ранцевые огнетушители* / manual tools: backpack fire extinguishers*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	40…80
		лесопожарная воздуходувка* / forest fire blower*	Струя воздуха / тонкораспыленная вода / Air jet / finely sprayed water	90…120
		механизированные средства (мотопомпы)* / mechanized tools (motor pumps)*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	50…75
		мобильный пожарный комплекс* / mobile fire complex*	Вода (со смачивателем) / Water (with wetting agent)	300…500

Примечание:* – только при условии доставки воды к месту тушения с помощью ПриспТ;
** – результаты собственных исследований.
Note:* – only if water is delivered to the fire site using adapted equipment;
** – results of own research.

Необходимо пояснить содержание таблицы 6. На первом этапе тушения ЛНП («Остановка кромки пожара») необходимо прекратить пламенное горение, что снизит скорость распространения ЛНП и ущерб лесному ценозу. Для обеспечения быстроты действий сначала тушение необходимо осуществлять СТЛП, не требующими расхода огнетушащих составов (лопаты, грабли, пожарные хлопушки, грунтометы). Оптимальная численность группировки – не более 15 человек. Затем для повышения скорости тушения к лесным пожарным должны быть высланы силы, оснащенные АЦ(Л), МПК и запасом воды в ПриспТ. На втором этапе («Локализация пожара заградительной минерализованной полосой») осуществляется опашка внешней кромки ЛНП ТрП или перекапывание грунта вручную лопатами. На третьем этапе («Дотушивание очагов горения внутри пожара») организуется борьба с очагами тления (беспламенного горения) с применением воды со смачивателем или без него. В этом случае тушение необходимо осуществлять вручную ранцевыми огнетушителями, лесопожарными воздуходувками. Лесопожарные мотопомпы, МПК и АЦ(Л) необходимо применять только при достаточной обеспеченности водой. Четвертый этап («Окарауливание пожара») осуществляется теми же средствами, что и третий; однако для повышения мощности в распоряжении лесных пожарных должен быть МПК с достаточным запасом воды.

Заключение. Климатические и лесорастительные условия лесостепи и степи в значительной степени отличаются от таковых для таежных и хвойно-широколиственных лесов. Наиболее ярко это нашло отражение в видах лесных пожаров – исключительно низовые пожары, а также в эффективности применения технологий и оборудования для тушения лесных пожаров, скорость тушения которых в 5-10 раз ниже тех, что заявлены в справочниках для лесов таежной зоны. Причина этому, недостаток воды, пригодной для тушения лесных пожаров. Количество осадков, выпадающих за теплый период года в степной зоне, в среднем в 2-2,5 раза ниже, чем в таежной. Из-за этого наибольшее снижение эффективности будет наблюдаться при применении пожарных автоцистерн и мобильных пожарных комплексов, остро нуждающихся в обеспечении водой. Поэтому тушение лесных низовых пожаров в лесостепи и степи необходимо проводить в два этапа. Первый этап – борьба с пламенным горением – необходимо осуществлять ручными средствами, не требующими расхода воды. Ко второму этапу тушения – борьбе с очагами беспламенного горения (тления) – необходимо приступать только после

обеспечения группировки сил и средств достаточным количеством воды с помощью приспособленной техники. Окарауливание и дотушивание горельника должно осуществляться проливкой очагов тления водой, подаваемой как ручными средствами (ранцевыми огнетушителями и лесопожарными воздуходувками), так и с применением пожарных автоцистерн и мобильных пожарных комплексов.

Conclutions. The climatic and forest vegetation conditions of the forest-steppe and steppe differ significantly from those of taiga and coniferous-broadleaf forests. This is most clearly reflected in the types of forest fires – surface fires exclusively – and the effectiveness of forest fire suppression technologies and equipment, whose extinguishing speeds are 5-10 times slower than those specified in forest reference books for taiga zones. This is due to the lack of water suitable for extinguishing forest fires. Precipitation during the warm season in the steppe zone is, on average, 2-2.5 times lower than in the taiga zone. Because of this, the greatest reduction in effectiveness will be observed when using fire trucks and mobile firefighting systems, which are in dire need of a water supply. Therefore, extinguishing forest surface fires in the forest-steppe and steppe requires a two-stage process. The first stage – fighting the flames – should be carried out manually, using water-saving equipment. The second stage of fire suppression – fighting flameless (smoldering) fires – should only begin after the firefighting force and resources have been provided with sufficient water using appropriate equipment. Surveillance and final extinguishing of the fire should be accomplished by dousing the smoldering fire with water, using both manual means (backpack extinguishers and forest fire blowers) and fire trucks and mobile firefighting systems.

Библиографический список

1. Гусев В. Г., Ирицян В. А. Типовые технологии тушения низовых лесных пожаров в зоне наземной охраны лесов. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С. М. Кирова. 2011. № 195. С. 59-66.

2. Арцыбашев Е. С. Планирование, организация и техника борьбы с лесными пожарами. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. № 3. С. 56-62.

3. Шур Ю. З., Доммес В. А., Мельников М. А., Горовая Е. Н., Густова Е. В., Сергеев А. С., Шепелёва И. С. О подходе к планированию количества технических средств специализированных лесопожарных формирований. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2015. № 1. С. 56-64.

4. Ступников Д. С. Тенденции развития технических средств для тушения лесных пожаров. Лесотехнический журнал. 2016. № 2. С. 135-140.

5. Волокитина А. В., Софронова Т. М. Оптимизация затрат при тушении лесных пожаров. Лесохозяйственная информация. 2018. № 2. С. 54-64.

6. Журавлева Л. А., Апатенко А. С. Повышение эффективности тушения природных пожаров лесными огнетушителями. Природообустройство. 2023. № 4. С. 110-116.

7. Питухин Е. А., Рогозин С. С. Оптимизация режимов работы лесопожарной машины. Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2022. № 6. С. 139-152.

8. Мясищев Д. Г. Обоснование лесопожарных технологий и машин на базе средств малой механизации. Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2008. № 4. С. 52-57.

9. Перминов А. В., Савченкова В. А., Коршунов Н. А., Конюшенков М. Е. Перспективы применения мотовездеходов в лесном хозяйстве. Лесохозяйственная информация. 2021. № 3. С. 59-69.

10. Платонов А. А. Грабли лесные: назначение, область применения, классификация. Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2023. Т. 27. № 6. С.139-150.

11. Ивченко О. А., Тютин А. В., Козаченко М. А., Меньшенина Д. В., Панкин К. Е. Эффективность применения сил и средств при тушении лесных низовых пожаров в Саратовской области. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2022. № 3 (68). С. 98-104.

12. Ивченко О. А., Панкин К. Е. Испытания огнетушащей способности гидрогеля алюминия при тушении модельных природных низовых пожаров. Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 38-49.

References

1. Gusev V. G., Iritsyan V. A. Typical technologies for extinguishing ground forest fires in the ground protection zone of forests. Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy named after S. M. Kirov. 2011. No 195. Pp. 59-66.

2. Artsybashev E. S. Planning, organization and technology of fighting forest fires. Transactions of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. 2014. No 3. Pp. 56-62.

3. Shur Yu. Z., Dommes V. A., Melnikov M. A., Gorovaya E. N., Gustova E. V., Sergeev A. S., Shepeleva I. S. On the approach to planning the number of technical means of specialized forest fire-fighting units. Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. 2015. No 1. Pp. 56-64.

4. Stupnikov D. S. Trends in the development of technical means for extinguishing forest fires. Forestry Engineering Journal. 2016. No 2. Pp.135-140.

5. Volokitina A. V., Sofronova T. M. Optimization of costs in extinguishing forest fires. Forestry information. 2018. No 2. Pp.54-64.

6. Zhuravleva L. A., Apatenko A. S. Improving the Efficiency of Wildfire Extinguishing with Forest Fire Extinguishers. Nature Management. 2023. No 4. Pp. 110-116.

7. Pitukhin E. A., Rogozin S. S. Optimization of Forest Fire-Fighting Machine Operating Modes. News of Higher Education Institutions. Forestry Journal. 2022. No 6. Pp.139-152.

8. Myasishchev D. G. Justification of Forest Fire-Fighting Technologies and Machines Based on Low-Mechanization Equipment. News of Higher Education Institutions. Forestry Journal. 2008. No 4. Pp. 52-57.

9. Perminov A. V., Savchenkova V. A., Korshunov N. A., Konyushenkov M. E. Prospects for the Use of All-Terrain Vehicles in Forestry. Forestry Information. 2021. No 3. Pp. 59-69.
10. Platonov A. A. Forest rakes: purpose, scope, classification. Forestry Bulletin. 2023. Vol. 27. No 6. Pp. 139-150.
11. Ivchenko O. A., Tyutin A. V., Kozachenko M. A., Menshenina D. V., Pankin K. E. Efficiency of the use of forces and means in extinguishing forest ground fires in the Saratov region. Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov. 2022. No 3 (68). Pp. 98-104.
12. Ivchenko O. A., Pankin K. E. Testing the fire extinguishing ability of aluminum hydrogel when extinguishing model natural ground fires. Forestry journal. 2020. Vol. 10. No 1 (37). Pp. 38-49.

Информация об авторах
Тютин Александр Васильевич, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина 4/3), ORCID 0000-0002-5982-8983, e-mail: aleksandartiutin@yandex.ru
Ивченко Ольга Александровна, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина 4/3), ORCID 0000-0003-0710-5123, e-mail: olgalexan607@mail.ru
Козаченко Максим Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина 4/3), 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 4/3), ORCID 0000-0002-3023-1411, e-mail: texmexium@mail.ru

Authors' Information
Tyutin Aleksandr Vasilyevich, Senior Lecturer, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), ORCID 0000-0002-5982-8983, e-mail: aleksandartiutin@yandex.ru
Ivchenko Olga Aleksandrovna, 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
Kozachenko Maksim Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, 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, 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, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), ORCID 0000-0002-3023-1411, e-mail: texmexium@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-37

THE GRAIN PEAS SOURCE MATERIAL RETROSPECTIVE EVALUATION WITHIN THE SELECTION FOR PRODUCTIVITY

Shaposhnikova Yu. V., Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V.

Federal Rostov Agricultural Research Centre
Rassvet, Rostov Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: juliasha.72@yandex.ru

Received 26.03.2026 Submitted 25.05.2026

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Rostov Agricultural Research Centre" FNFZ-2022-0004 "To create new genotypes of grain peas with high yields, improved processability, grain quality, and resistance to abiotic and biotic stress".

Summary
The article presents a comparative analysis of three-year data on changes in the main elements of productivity (the number of beans per plant, the number of seeds per bean, the number of seeds per plant, and the total weight of seeds) in 30 plants of different years of selection, which we have divided into three groups of 10 samples: old varieties, varieties of the 1980s and 1990s of the 20th century, and modern varieties. The studies were conducted in the fields of the breeding crop rotation at the Federal Rostov Agricultural Research Centre, located in the Azov agroclimatic zone of the Rostov Region. As a result of the conducted research, the trends of changes in productivity traits that occurred as a result of long-term selection have been established. Preliminary directions for further breeding work have been outlined.

Abstract
Introduction. The aim of the modern grain pea breeding is to create and introduce new, high-yielding, adaptive, and technologically advanced varieties with high-quality grain. The reasonable selection of the source material for hybridization is impossible without a competent study in the collection nursery of varieties of previous breeding. This allows for the identification of changes in the traits and properties of the genotypes. **The purpose of the research.** To study the main elements of the productivity of grain pea plants of different years of breeding against the background of gradual improvement of the technological efficiency of

genotypes. To preliminarily determine the trends of changes in these indicators that occurred as a result of breeding. **Materials and methods.** The experiments were carried out was conducted in the breeding crop rotation of the FSBSI "FRARC" in 2023-2025. To obtain the results, we used 30 genotypes of grain peas from different years of cultivation, conditionally divided by us into three groups of 10 samples each (old varieties, varieties from the 1980s and 1990s, and modern varieties). Field experiments, phenological observations, counts, and measurements were conducted in full accordance with the generally accepted methods. The material was harvested in sheaves, manually, as the varieties matured, and the structural analysis of the plants was conducted in laboratory conditions. **Results and conclusions.** The study of collection varieties of grain peas demonstrated a stable increase in the final productivity of plants during long-term selection. With comparable or even higher productivity values, older varieties showed lower yields due to insufficient technological efficiency, which led to overgrowth and lodging of plants, as well as loss of seeds and pods during the ripening and harvesting process. Our research has shown that breeding work with pea genotypes successfully solves the problem of both improving individual quantitative indicators of productivity (increasing the number of pods per plant, the number of seeds per pod, the number of seeds per plant, and obtaining grains of optimal size), so is achieving balance between these elements. This can be seen in modern varieties that combine increased productivity with high technological efficiency.

Keywords: *grain peas, pea seeds, pea breeding, retrospective analysis, plant nurseries, pea varieties, pea genotypes.*

Citation. Shaposhnikova Yu. V., Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V. The grain peas source material retrospective evaluation within the selection for productivity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 333-342 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-37.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 author declares no conflict of interest.

УДК 633.358:631.527

РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ЗЕРНОВОГО ГОРОХА В СЕЛЕКЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ

Шапошникова Ю. В., *научный сотрудник*
Коробова Н. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Коробов А. П., *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник*
Пучкова Е. В., *научный сотрудник*

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный Ростовский аграрный научный центр
п. Рассвет, Ростовская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках государственного задания ФГБНУ ФРАНЦ FNFZ-2022-0004 «Создать новые генотипы зернового гороха, обладающие высокой урожайностью, повышенной технологичностью, качеством зерна, устойчивостью к влиянию абиотических и биотических стрессов».

Актуальность. Задача современной селекции зернового гороха – создание и внедрение в производство новых высокоурожайных, адаптивных, технологичных сортов с высоким качеством зерна. Обоснованный подбор исходного материала для гибридизации невозможен без грамотного изучения в коллекционном питомнике сортов предшествующей селекции. Это позволяет выявить направления изменений признаков и свойств генотипов. **Цель исследований:** изучить основные элементы продуктивности растений гороха зернового направления разных лет селекции на фоне постепенного усовершенствования технологичности генотипов. Предварительно определить тенденции изменений этих показателей, произошедшие в результате селекции. **Материалы и методы.** Опыты проводили в селекционном севообороте ФГБНУ ФРАНЦ в 2023-2025 годах. Для получения результатов использовали 30 генотипов зернового гороха разных лет районирования, условно разделенных нами на три группы по 10 образцов (стародавние, сорта 80-90-х гг. XX века и современные сорта). Полевые опыты, фенологические наблюдения, учеты и измерения проводили в полном объеме согласно общепринятым методикам. Материал убирали снопами, вручную, по мере созревания сортов; структурный анализ растений проводили в лабораторных условиях. **Результаты и выводы.** Изучение коллекционных сортов зернового гороха продемонстрировало стабильный рост итоговой продуктивности растений в процессе длительной селекции. При сопоставимых или даже превышающих значениях показателей продуктивности старые сорта проявляли меньшую урожайность из-за недостаточной технологичности, приводящей к израстанию и полеганию растений, потере семян и бобов в процессе созревания и уборки. Наши исследования показали, что селекционная работа с

генотипами гороха успешно решает задачу как улучшения отдельных количественных показателей продуктивности (роста числа бобов на растении, количества семян в бобе, числа семян с растения и получения зерна оптимальной крупности), так и достижения баланса между данными элементами. Это заметно на примере современных сортов, демонстрирующих сочетание повышенной продуктивности с высокой технологичностью.

Ключевые слова: *горох зерновой, исходный материал гороха, селекция гороха, ретроспективный анализ, сорта гороха, генотипы гороха.*

Цитирование. Шапошникова Ю. В., Коробова Н. А., Коробов А. П., Пучкова Е. В. Ретроспективная оценка исходного материала зернового гороха в селекции на продуктивность. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 333-342. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-37.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Выращивание зернобобовых культур играет существенную роль в российском агропромышленном комплексе. Особое место в этом сегменте занимает горох, который культивируется по всей территории страны. По данным статистики, в период с 2020 по 2025 годы площади под горохом в России выросли с 1,3 до 2,16 млн га [1]. Тем не менее, несмотря на то что горох занимает в общем объеме зерновых и зернобобовых 3,3 % (4,7 млн тонн), его доля в структуре посевных площадей остается незначительной, не превышая 1 % [2].

Производство продовольственного гороха представляет собой экономически выгодный ресурс повышения эффективности сельского хозяйства [3]. Благодаря высокому содержанию белка, крахмала и минеральных веществ [4], его зерно обладает хорошими пищевыми и кормовыми свойствами. Количество белка в нем в зависимости от сорта и условий выращивания может варьировать от 13 до 38 %, в среднем составляя 22,3 % [5]. В сочетании с высокой биологической ценностью (75-85 %), он легко усваивается животными и человеком, а по аминокислотному составу приближается к белку животного происхождения [6].

Значимость гороха как предшественника заключается в его способности поддерживать плодородие почвы и сокращать потребность в минеральных азотных удобрениях благодаря фиксации атмосферного азота и его аккумуляции в почве [7]. Это, в свою очередь, способствует повышению эффективности использования органических удобрений последующими культурами в севообороте [8].

Текущая сложная финансово-экономическая и политическая обстановка в стране диктует необходимость обеспечения достаточного объема собственного семенного материала зернового гороха для целей импортозамещения. В идеале, характеристики российских сортов должны не только соответствовать уровню лучших мировых представителей, но и, возможно, даже превосходить их. Необходимо, чтобы создаваемые сорта обладали высоким потенциалом продуктивности, устойчивостью к полеганию, израстанию, осыпанию семян, а также к основным болезням и вредителям [9, 10]. Кроме того, они должны быть адаптированы к современным технологиям уборки, в том числе к прямому комбайнированию. По мнению ряда исследователей, правильно подобранный сорт способен обеспечить до 50 % прироста урожайности зерна [11].

В процессе селекционной работы первоочередной задачей является поиск источников ценных признаков для использования их в последующей гибридизации [9]. Работа с коллекционными образцами зернового гороха, помимо поддержания самой коллекции, включает детальное изучение ее ассортимента с целью выявления перспективного исходного материала. Поскольку современные сорта значительно отличаются от первых промышленных по ряду характеристик, метод ретроспективного анализа является крайне важным для оценки генотипов, районированных в разные годы. Он позволяет проанализировать изменения хозяйственно-ценных качеств культуры за предшествующий период селекционной работы с нею, помогает выстроить довольно точный научный прогноз на ближайшие 10-15 лет и разработать модели новых сортов.

Цель работы заключается в сравнительном анализе ключевых признаков продуктивности растений зернового гороха стародавней и современной селекции с учетом усовершенствования его технологических характеристик, а также определить тенденции изменений этих показателей, произошедшие в результате селекционных работ.

Условия, материалы и методы. Исследовательская работа проводилась в период с 2023 по 2025 годы в селекционном севообороте, организованном Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФГБНУ ФРАНЦ) в Приазовской агроклиматической зоне Ростовской области. Почвенный состав участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным среднемощным тяжелосуглинистым, сформировавшимся на лессовидном суглинке.

Посев образцов проводили вручную, широкорядно, по предшественнику – озимой пшенице. Растения имели индивидуальную площадь питания размером 10х30 см. Опытные делянки – трехрядковые, в двукратной повторности. Площадь посева и учетная площадь каждой делянки составляли 1 м².

В качестве стандартного образца каждым десятым номером высевали районированный сорт Аксайский усатый 5, который также служит сортом-стандартом в системе государственного сортоиспытания в Ростовской области.

В ретроспективный анализ были включены 30 образцов зернового гороха, условно разделенных нами на три группы. В первую мы включили 10 стародавних сортов, широко возделывавшихся в сельскохозяйственном производстве страны в 60-70-е годы прошлого века. В ее ассортименте – сортообразцы как отечественного, так и зарубежного происхождения (Украина, Швеция). Вторая группа состояла из 10 промышленных генотипов, районированных в 1980-1990-х годах. Она включала сорта селекции Донского зонального НИИСХ и образцы мировой коллекции Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства имени Н. И. Вавилова (ВИР). Третья группа была представлена десятью современными сортами селекции ФГБНУ ФРАНЦ (бывшего ДЗНИИСХ), а также сортами зарубежной селекции (Франции и Германии).

Уборку проводили вручную, снопами, по мере достижения сортами полной спелости. Анализ структуры растений выполняли в лабораторных условиях.

Полевые опыты закладывали, руководствуясь общепринятой методикой по изучению коллекции зерновых бобовых культур. Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Продуктивность является ключевым фактором, определяющим перспективность сорта для сельскохозяйственного производства. Идеальный промышленный высокотехнологичный сорт должен сочетать высокую продуктивность с качеством зерна и устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды.

Известно, что продуктивность – это сложный, комплексный показатель, каждый элемент которого формируется множеством генов. Сложность селекционной работы над этим признаком состоит в необходимости одновременного объединения наилучшей комбинации хозяйственно полезных характеристик в отдельно взятом генотипе.

В своей работе мы попытались проанализировать изменения ряда важных элементов структуры продуктивности (количество бобов на растении, число семян в бобе, общее количество семян с растения и масса 1000 семян), произошедшие в результате длительной селекции зернового гороха.

Количество бобов на растении – один из основных элементов структуры урожая, зависящий от числа продуктивных узлов и количества бобов на каждом из них. В наших опытах самый большой разброс средних значений за 2023-2025 гг. наблюдался у сортов стародавней группы: от 5,7 шт. (Многоцветковый, Ленинградская область) до 12,2 шт. (Капитал, Швеция). Образцы, выведенные в 1980-1990-х гг., демонстрировали более узкий диапазон вариации: от 7,2 шт. у сорта Немчиновский 91 (НИИСХ ЦРНЗ) до 10,9 шт. у сорта Таловец 65 (НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева).

Среди современных сортообразцов отмечена наибольшая однородность по этому показателю, составившая от 7,8 шт. у французского генотипа Астронавт до 8,8 шт. у сорта собственной селекции Донец (рисунок 1). Следует отметить, что различия в количестве бобов на растении между изучаемыми группами в среднем за три года исследований были незначительными: 7,8 шт. у стародавних и по 8,3 шт. у представителей средней и современной групп. Сорт-стандарт Аксайский усатый 5 (ДЗНИИСХ) показал значение 7,9 шт. бобов на растение.

Можно предположить, что высокая биологическая продуктивность старых генотипов связана с их длинным стеблем, обеспечивающим большее количество продуктивных узлов на нем. Однако такие растения склонны к сильному полеганию и израстанию во влажные годы, что значительно усложняет их механизированную уборку.

В современных высокотехнологичных сортах наблюдается тенденция к укорочению и утолщению стебля не за счет уменьшения числа продуктивных узлов на растении, а за счет сокращения длины междоузлий. Это формирует более компактную зону плодоношения. Кроме того, для современных сортов также важна высота прикрепления нижних бобов, которая должна составлять не менее 30-40 см, чтобы минимизировать потери при прямом комбайнировании. Такие морфологические улучшения позволяют растениям гороха современных сортов сохранять максимальное количество бобов к моменту созревания и уборки.

Важным фактором, влияющим на формирование продуктивности гороха, является количество семян в бобе (озерненность), которое в значительной степени определяется генотипом растения. Этот показатель является наиболее стабильным, что делает весьма перспективным включение в селекционный процесс сортов с высоким значением этого признака. Он незначительно варьирует по годам, поскольку меньше подвержен влиянию погодных условий.

В наших исследованиях выполненность боба в среднем за 3 года у сортов всех групп различалась незначительно: у стародавних сортов она составила 4,3 семени, у сортов 80-90-х годов – 4,4, а у современных генотипов – 4,8 зерна в бобе (рисунок 2). У сорта-стандарта Аксайский усатый 5 этот показатель составил 4,6 семени.

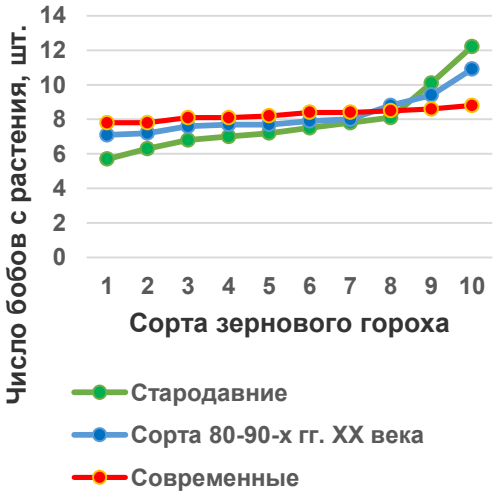


Рисунок 1 – Число бобов с растения у образцов зернового гороха разных лет селекции (в среднем, за 2023-2025 гг.), г
Figure 1 – Number of beans per plant in grain pea samples of different years of selection (on average, for 2023-2025), g

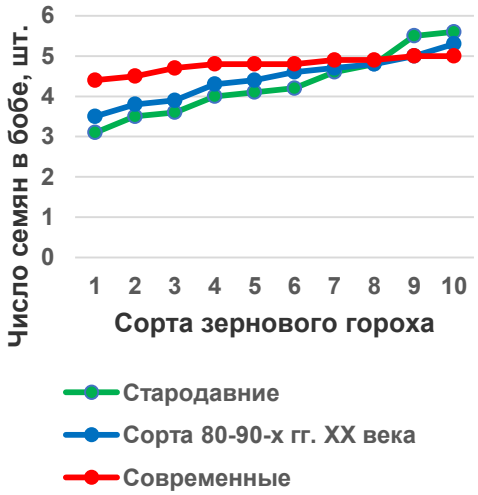


Рисунок 2 – Число семян в бобе у образцов зернового гороха разных лет селекции (в среднем, за 2023-2025 гг.), г
Figure 2 – Number of seeds per plant in grain pea samples of different years of selection (on average, for 2023-2025), g

Среди старых образцов минимальное значение показал шведский генотип Масличный (3,1 семени), а максимальное – 5,6 шт. – Многоцветковый (Ленинградская область). В средней группе разброс по значениям составил от 3,5 у Таловца 65 (НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева) до 5,3 шт. зерен у Флагмана 9 (ФГБУН Самарский ФИЦ РАН). Озерненность бобов новых сортов была наиболее выровненной, от 4,4 шт. у Премьера (ФГБНУ ФРАНЦ) до 5,0 шт. у образцов Боксер (Франция) и Корнет (ФГБНУ ФРАНЦ), что подчеркивает успешность селекции по этому признаку.

В конечном итоге, число семян в бобе, наряду с увеличением количества бобов на продуктивном узле, влияет на общее количество семян, сформировавшихся на растении (семенную продуктивность). Этот признак обусловлен как генетическими особенностями образца, так и влиянием разнообразных погодно-климатических условий. Наши данные показали увеличение семенной продуктивности у более поздних групп сортов, что является результатом селекционной работы по усовершенствованию сортов (рисунок 3). Так, в среднем за 2023-2025 годы, наименьшая семенная продуктивность в группе стародавних сортов составила 26,1 шт. (Московский 572, ФГУ МСС РАН), а наибольшая проявилась у шведского сорта Капитал (44,3 шт. семян). В группе генотипов 80-90-х годов XX века она варьировала от 30,9 (Чишминский 95, ФГБНУ УФИЦ РАН) до 39,8 шт. зерен (Флагман 9,

ФГБУН Самарский ФИЦ РАН). У сортов нового поколения крайние значения диапазона представили образцы ФГБНУ ФРАНЦ Премьер и Донец (35,8 и 43,0 шт. семян, соответственно).

По усредненным трехлетним данным семенная продуктивность возрастала в каждой последующей группе (32,7; 35,7 и 39,5 зерен в бобе, соответственно). Это закономерно следует из-за постепенного усовершенствования технологичности генотипов. Известно, что современные среднестебельные растения зернового гороха, обладающие прочной соломиной, более устойчивы к полеганию и лучше поддаются прямому комбайнированию. В процессе созревания у них ощутимо снижается процент растрескивания бобов и осыпания семян, что снижает потери при уборке и способствует увеличению урожайности.

Масса 1000 семян (крупность, выполненность зерна) является еще одним важным элементом структуры урожая зернового гороха. Этот признак изменчив и зависит от сорта и условий окружающей среды. Он используется для определения нормы высева семян, поскольку отражает средний размер зерна. Хотя селекция на крупносемянность логически призвана повысить урожайность, значительное увеличение массы тысячи семян не всегда целесообразно из-за необходимости увеличения нормы высева. Такое зерно при механизированной уборке сильнее травмируется и дробится [12]. Поэтому в сельскохозяйственном производстве предпочтение отдается сортам со среднекрупными семенами порядка 170-220 г. В наших опытах наблюдался рост этого показателя в процессе селекции. У современных высокотехнологичных сортов масса 1000 семян находилась в диапазоне 184,0-203,3 г, со средним значением 192,5 г, что полностью соответствует потребностям сельского хозяйства. В наших опытах наблюдался прирост этого показателя в процессе селекционной работы (рисунок 4).

В группе образцов 60-70-х гг. XX века отмечался значительный разброс по массе 1000 семян. При минимальном значении в выборке у сорта Рамонский 77 (ФГБНУ ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова) – 128,5 г и максимальном у образца Черниговский (Украина) – 239,1 г, ее средняя величина составила 178,6 г.

У генотипов 80-90-х годов прошлого столетия она варьировала от 159,7 (Красноуфимский 93, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН) до 231,4 г (Чишминский 95, ФГБНУ УФИЦ РАН), при среднем значении 185,8 г.

Масса 1000 семян 10 современных высокотехнологичных сортов находилась в диапазоне от 184,0 (Премьер, ФГБНУ ФРАНЦ) до 203,3 г (Боксер, Франция), а средняя крупность среди них показала значение 192,5 г. Таким образом, значение массы 1000 семян изученных нами новых сортов зернового гороха вполне соответствует сегодняшним потребностям сельхозпроизводства.

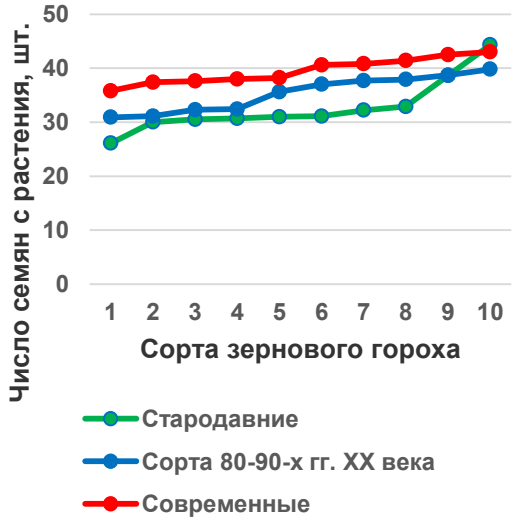


Рисунок 3 – Число семян с растения у образцов зернового гороха разных лет селекции (в среднем, за 2023-2025 гг.), г
Figure 3 – Number of seeds per plant in grain pea samples of different years of selection (on average, for 2023-2025), g

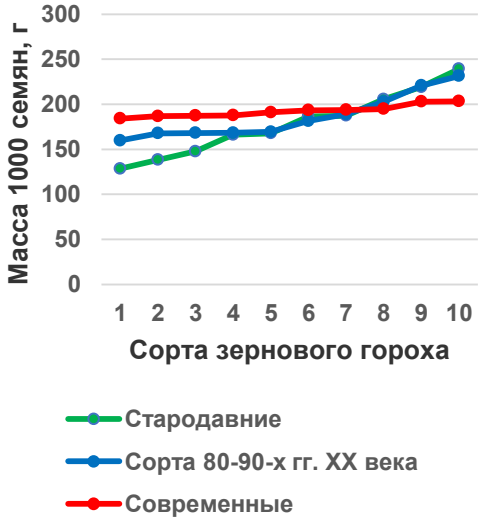


Рисунок 4 – Масса 1000 семян у образцов зернового гороха разных лет селекции (в среднем, за 2023-2025 гг.), г
Figure 4 – Weight of 1,000 seeds in grain pea samples of different years of selection (on average, for 2023-2025), g

Способность растения давать большое количество семян, или его продуктивность, является ключевым, многокомпонентным показателем урожайности сорта. Изучение коллекционных образцов гороха различных селекционных периодов по признакам продуктивности показало, что на формирование и величину каждого элемента урожая влияли как генетические особенности исследуемых сортообразцов, так и складывающиеся условия окружающей среды. Погодные условия в период проведения наблюдений заметно отличались. Наиболее благоприятным для вегетации растений оказался 2023 год, характеризующийся умеренным количеством осадков и уровнем среднегодовых температур. В 2024 и 2025 годах в Ростовской области сложились экстремально неблагоприятные условия, включая высокие температуры и дефицит осадков.

Наши опыты показали значительные различия средней продуктивности сортов из различных временных групп (рисунок 5). Сорт-стандарт Аксайский усатый 5 сформировал результат в 5,9 г. У старых, длинностебельных облиственных генотипов средняя масса семян за все годы исследований составила 5,7 г, варьируя от 3,6 г (Московский 572, ФГУ МСС РАН) до 7,3 г (Черниговский, Украина). Во второй группе сортов средняя продуктивность достигла 6,7 г, с диапазоном от 5,5 г (Немчиновский 91, НИИСХ ЦРНЗ) до 8,3 г (Таловец 65, НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева).

Генотипы современной селекции демонстрируют существенный рост продуктивности. При среднем значении показателя в выборке 7,8 г, диапазон варьирования колебался от 7,0 г у Премьера до 8,6 г у Донца (оба сорта селекции ФГБНУ ФРАНЦ). Шесть наиболее продуктивных образцов показали следующие значения массы семян с растения: Болдор (Франция) и Казачок (ФГБНУ ФРАНЦ) – по 8,2 г, Таловец 65 (НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева) и Корнет (ФГБНУ ФРАНЦ) – по 8,3 г, Боксер (Франция) – 8,4 г. Наивысшую продуктивность среди всех изученных сортов показал сорт собственной селекции Донец – 8,6 г.

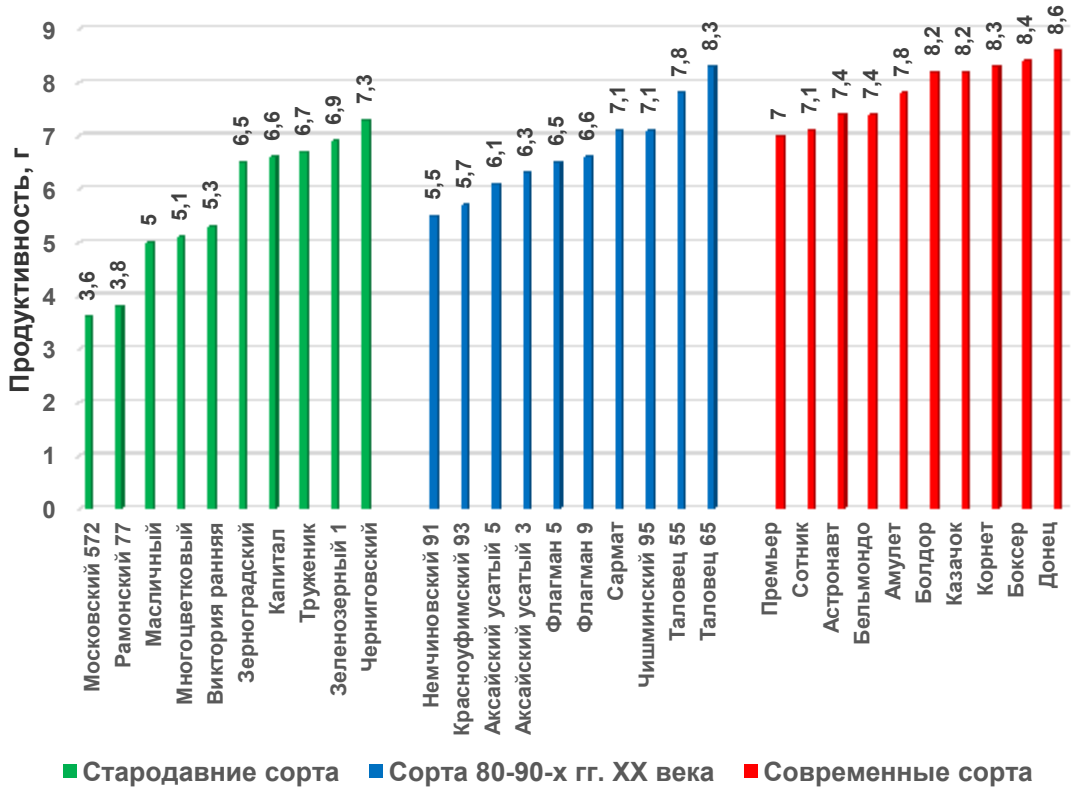


Рисунок 5 – Продуктивность образцов зернового гороха разных лет селекции (в среднем, за 2023-2025 гг.), г

Figure 5 – Productivity of grain pea samples from different years of breeding (average for 2023-2025), g

Изучив трехгодичные показатели, мы определили, что селекционная работа с сортами способствовала положительной динамике роста значений элементов продуктивности (таблица).

Таблица – Прирост продуктивности генотипов зернового гороха из коллекционного питомника относительно стародавних сортов и сорта-стандарта Аксайский усатый 5 (в среднем, за 2023-2025 гг.)
Table – Increase in productivity of grain pea genotypes from a collection nursery compared to old varieties and the standard variety Aksajskij usaty`j 5 (on average, for 2023-2025)

Группы сортов / Groups of varieties	Признак продуктивности / A sign of productivity	Величина признака / The value of the attribute	К стародавним сортам, % / To the old varieties, %	К сорту-стандарту, % / To the standard variety, %
Аксайский усатый 5 (стандарт) / Aksajskij usaty`j 5 (standard)	Число бобов на растении, шт. / Number of beans per plant, pcs.	7,9	+1,3	-
Стародавние сорта / Ancient varieties		7,8	-	-1,3
Сорта 80-90-х гг. XX века / Varieties from the 1980s and 1990s		8,3	+6,0	+4,8
Современные сорта / Modern varieties		8,3	+6,0	+4,8
Аксайский усатый 5 (стандарт) / Aksajskij usaty`j 5 (standard)	Число семян в бобе, шт. / Number of seeds per bean, pcs.	4,6	+6,5	-
Стародавние сорта / Ancient varieties		4,3	-	-6,5
Сорта 80-90-х гг. XX века / Varieties from the 1980s and 1990s		4,4	+2,3	-4,3
Современные сорта / Modern varieties		4,8	+10,4	+4,2
Аксайский усатый 5 (стандарт) / Aksajskij usaty`j 5 (standard)	Число семян с растения, шт. / Number of seeds per plant, pcs.	34,8	+6,0	-
Стародавние сорта / Ancient varieties		32,7	-	-6,0
Сорта 80-90-х гг. XX века / Varieties from the 1980s and 1990s		35,7	+8,4	+2,5
Современные сорта / Modern varieties		39,5	+17,2	+11,9
Аксайский усатый 5 (стандарт) / Aksajskij usaty`j 5 (standard)	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	168,0	-6,0	-
Стародавние сорта / Ancient varieties		178,6	-	+6,0
Сорта 80-90-х гг. XX века / Varieties from the 1980s and 1990s		185,8	+3,9	+9,6
Современные сорта / Modern varieties		192,5	+7,2	+12,7
Аксайский усатый 5 (стандарт) / Aksajskij usaty`j 5 (standard)	Продуктивность, г / Productivity, g	5,9	+3,9	-
Стародавние сорта / Ancient varieties		5,7	-	-3,9
Сорта 80-90-х гг. XX века / Varieties from the 1980s and 1990s		6,7	+14,9	+11,9
Современные сорта / Modern varieties		7,8	+26,9	+24,4

Совершенствование морфологической структуры растений (среднестебельность, компактная зона плодоношения, увеличение числа продуктивных узлов) постепенно вело к улучшению технологичности сортов зернового гороха. При этом отмечается тенденция к

сбалансированному росту количественных показателей продуктивности по сравнению с сортом-стандартом и генотипами предыдущих селекций. Современные промышленные сорта достигли значительного увеличения числа семян с растения из-за сокращения их потерь в процессе созревания и уборки и оптимального значения массы зерна.

Заключение. Результаты наших опытов показали, что селекционная работа с генотипами зернового гороха успешно решает задачу по достижению баланса между количественными показателями отдельных элементов продуктивности (число бобов на растении, количество семян в бобе, числа семян с растения, масса зерна). Это позволяет современным сортам демонстрировать более высокую урожайность, часто превосходящую образцы прошлых лет.

На основе изучения и оценки генетического потенциала коллекционных образцов зернового гороха разных лет селекции, учеными ФГБНУ ФРАНЦ создан ряд новых промышленных сортов (Премьер, Сотник, Амулет, Донец, Казачок и Корнет) с усовершенствованными технологическими и хозяйственно-значимыми характеристиками. Их реализованная урожайность в благоприятные по метеорологическим условиям годы достигает уровня 4,5-7,4 т/га. Помимо этого, сорта Премьер, Амулет и Казачок обладают высокими пищевыми достоинствами: содержание протеина в их зерне достигает 29 %, что, в среднем, выше, чем у других сортов зернового гороха, на 3-5 %.

Следует отметить и то, что генотипы донской селекции отличаются повышенной адаптивностью к неблагоприятным условиям выращивания и способны сохранять стабильную урожайность в различные по погодным условиям годы. Учитывая, что современные российские сорта не уступают, а иногда и превосходят импортные аналоги по отдельным характеристикам, их роль в импортозамещении семян на отечественном рынке становится крайне актуальной.

Conclusion. The results of our experiments have shown that breeding work with grain pea genotypes successfully solves the problem of achieving a balance between the quantitative indicators of individual elements of productivity (the number of beans per plant, the number of seeds per bean, the number of seeds per plant, and the grain weight). This allows modern varieties to demonstrate higher yields, often surpassing those of previous years.

Based on the study and evaluation of the genetic potential of collection samples of grain peas from different years of breeding, scientists at the Federal Research Center for Agriculture and Food have created a number of new industrial varieties (Premier, Sotnik, Amulet, Donets, Kazachok, and Kornet) with improved technological and economic characteristics. In years with favorable meteorological conditions, their realized yield reaches 4.5-7.4 t/ha. In addition, the Premier, Amulet, and Kazachok varieties have high nutritional value: their grain contains up to 29 % protein, which is 3-5 % higher than in other grain pea varieties.

It should also be noted that the genotypes of the Don selection are highly adaptable to adverse growing conditions and can maintain stable yields in different weather conditions. Given that modern Russian varieties are not inferior to, and sometimes even surpass, their imported counterparts in certain characteristics, their role in the import substitution of seeds in the domestic market becomes extremely important.

Библиографический список

1. Донские селекционеры вывели сорта гороха с урожайностью до 31 ц/га. https://www.kommersant.ru/doc/ 8061807.

2. Лихачёва Л. И., Москалев А. В., Лихачёва Н. В., Матолинец Н. Н. Результаты селекции гороха на Среднем Урале. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 3 (55). С. 12-17.

3. Зотиков В. И., Вилюнов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25 (4). С. 381-387.

4. Franck W., Chen CH., Franck S., Mohammed Ye. A. et al. Cultivar and environmental impact on protein and mineral concentrations in peas (Pisum Sativum L.). Crop science. 2024. № 1. Pp. 287-302.

5. Tzitzikas E. N., Vincken J. P., de Groot J., Gruppen H., Vissen R. Genetic variation in pea seed globulin composition. Jornal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. № 54 (2). Pp. 425-433.

6. Шаболкина Е. Н., Анисимкина Н. В., Майстренко О. А. Изучение биохимических свойств муки зернобобовых культур (горох, соя), физических и хлебопекарных показателей теста смесей с пшеничной мукой. Зерновое хозяйство России. 2022. № 1. С. 65-69.

7. Пислегина С. С., Четвертных С. А. Результаты изучения коллекционных сортообразцов гороха (Pisum sativum L.) по хозяйственно полезным признакам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (6). С. 958-968.

8. Шакирзянова М. С., Шагаев Н. А. Результаты селекции гороха посевного в Ульяновском НИИСХ. Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 2 (46). С.10-18.

9. Семенова Е. В., Бойко А. П., Новикова Л. Ю. и др. Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (Pisum sativum L.) по направлениям использования. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. № 26 (7). С. 599-608.

10. Лихачева Л. И., Москалев А. В. Взаимосвязь элементов продуктивности у гороха с усатым и листочковым морфотипом. Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 6. С. 15-19.

11. Дубовик Д. В., Морозов А.Н., Дубовик Е. В., Шумаков А. В. Научно-практические рекомендации по возделыванию гороха в условиях Курской области. Курск, ФГБНУ «Курский ФАНЦ». 2024. 61 с.

12. Гайнуллина К. П., Давлетов Ф. А., Сафин Ф. Ф. Исходный материал для селекции гороха в условиях Республики Башкортостан. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 103-106.

References

1. Don breeders have developed pea varieties with a yield of up to 31 ts/ha. https://www.kommersant.ru/doc/8061807.

2. Lihacheva L. I., Moskalev A. V., Lihacheva N. V., Matolinets N. N. Results of pea breeding in the Middle Urals. Legumes and cereals. 2025 No 3 (55). Pp. 12-17.

3. Zotikov V. I., Vilunov S. D. Modern breeding of legumes and cereal crops in Russia. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021. No 25 (4). Pp. 381-387.

4. Franck W., Chen CH., Franck S., Mohammed Ye. A. et al. Cultivar and environmental impact on protein and mineral concentrations in peas (Pisum Sativum L.). Crop science. 2024. No 1. Pp. 287-302.

5. Tzitzikas E. N., Vincken J. P., de Groot J., Gruppen H., Vissen R. Genetic variation in pea seed globulin composition. Jornal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. No 54 (2). Pp. 425-433.

6. Shabolkina E. N., Anisimkina N. V., Maystrenko O. A. Study of the biochemical properties of legume flour (peas, soybeans), physical and baking indicators of the dough from mixtures with wheat flour. Grain economy of Russia. 2022. No 1. Pp. 65-69.

7. Pislegina S. S., Chetvertnyh S. A. Results of the study of collection varieties of peas (Pisum sativum L.) according to economically useful characteristics. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2023. No 24 (6). Pp. 958-968.

8. Shakirzyanova M. S., Shagaev N. A. The results of the selection of seed peas in the Ulyanovsk Research Institute of Agricultural Sciences. Legumes and cereals. 2023. No 2 (46). Pp. 10-18.

9. Semenova E. V., Boyko A. P., Novikova L. Yu., Vishnyakova M. A., Phenotypic traits that determine the differentiation of the pea (Pisum sativum L.) gene pool by the directions of use. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2022. No 26 (7). Pp. 599-608.

10. Lihacheva L. I., Moskalev A. V. Relationship of productivity elements in peas with a mustache and leaf morphotype. Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex. 2021. V. 35. No 6. Pp. 15-19.

11. Dubovik D. V., Morozov A. N., Dubovik E. V., Shumakov A. V. Scientific and practical recommendations for growing peas in the Kursk region. Kursk: Kursk Federal Research Center, 2024. 61 p.

12. Gainullina K. P., Davletov F. A., Saphin F. F. Source material for pea breeding in the Republic of Bashkortostan. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 3 (77). Pp. 103-106.

Информация об авторах

Шапошникова Юлия Владимировна, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1), ORCID: 0000-0003-3627-4532, e-mail: juliasha.72@yandex.ru

Коробова Наталья Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1), ORCID: 0000-0003-3363-4395, e-mail: kornat.58@ya.ru

Коробов Андрей Петрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1), ORCID: 0000-0002-0879-8470, e-mail: korobov1956@internet.ru

Пучкова Елена Викторовна, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 346735, Ростовская область, Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, 1), ORCID: 0000-0002-7464-3047, e-mail: elena.puchkova.68@mail.ru

Authors' Information

Shaposhnikova Yulia Vladimirovna, Laboratory Researcher, Federal Rostov Agricultural Research Centre (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksay District, Rassvet village, Institutskaya Str., 1), ORCID: 0000-0003-3627-4532, e-mail: juliasha.72@yandex.ru

Korobova Natalya Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head at the Laboratory, Federal Rostov Agricultural Research Centre (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksay District, Rassvet village, Institutskaya Str., 1), ORCID: 0000-0003-3363-4395, e-mail: kornat.58@ya.ru

Korobov Andrey Petrovich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Federal Rostov Agricultural Research Centre (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksay District, Rassvet village, Institutskaya Str., 1), ORCID: 0000-0002-0879-8470, e-mail: korobov1956@internet.ru

Puchkova Elena Viktorovna, Laboratory Researcher, Federal Rostov Agricultural Research Centre" (Russian Federation, 346735, Rostov region, Aksay District, Rassvet village, Institutskaya Str., 1), ORCID: 0000-0002-7464-3047, e-mail: elena.puchkova.68@mail.ru

***** ИЗВЕСТИЯ *****
НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
№ 4 (88), 2026

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-38

THE EFFECT OF THE NEW MINERAL-ORGANIC FEED ADDITIVE "BISHOMAL" ON THE BROILER CHICKENS PRODUCTIVE INDICATORS

Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Khoroshevskaya L. V., Tomilenko K. A.

Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 11.06.2026 Submitted 15.07.2026

The work was carried out under the grant of RSF 25-16-00303.

Abstract

Introduction. Modern cross-bred poultry have a high genetic productivity potential, but to fully realization it is necessary to apply advanced housing and feeding technologies, improve feed formulations, and introduce innovative feed additives and complexes capable of supporting all the body's physiological processes, as well as strengthening the immune system. The relevance of this study stems from the need to identify biologically active components of natural origin that, while being highly digestible and non-toxic, would promote metabolic activation, improve digestive function in young animals, and enhance immune status, all without increasing dietary costs. The objective of this study was to study the effect of the liquid feed additive "Bishomal" on the physiological development, growth, feed conversion, livability, and productivity of broiler chickens, and to determine optimal dosages for its introduction into the diet. **Materials and methods.** At 14 days of age, a control and three experimental groups of 100 Ross-308 broiler chickens were formed using the analog pair method. Birds in the control group received a basic diet, while the experimental groups also received the test liquid supplement in their drinking water. **Results.** The most pronounced effect was observed when feeding the prepared solution at a concentration of 0.2 %, resulting in more intensive live weight gain, improved survivability, and more efficient feed conversion compared to the control group. **Conclusion.** Including the liquid water-soluble mineral-organic feed supplement "Bishomal" in the broiler chicken diet had a positive effect on poultry performance.

Keywords: *broiler chickens feeding, mineral and organic feed additives, broiler chicken diets, broiler chickens productive indicators, broiler chickens live weight gain.*

Citation. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Khoroshevskaya L. V., Tomilenko K. A. The effect of the new mineral-organic feed additive "Bishomal" on the broiler chickens productive indicators. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 343-350 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-38.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.5.087

ВЛИЯНИЕ НОВОЙ МИНЕРАЛЬНО-ОРГАНИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ «БИШОМАЛ» НА ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Горлов И. Ф., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
Сложенкина М. И., *доктор биологических наук, член-корреспондент РАН*
Хорошевская Л. В., *доктор сельскохозяйственных наук, ведущий специалист*
Томиленко К. А., *лаборант-исследователь*

ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 25-16-00303, ГНУ НИИММП.

Актуальность. Птица современных кроссов обладает высоким генетическим потенциалом продуктивности, но для его полной реализации необходимо применение передовых технологий содержания и кормления, совершенствование рецептуры кормов, внедрение инновационных кормовых добавок и комплексов, способных обеспечить все физиологические процессы организма, а также

укрепление иммунной защиты. Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска биологически активных компонентов природного происхождения, которые, обладая высокой усвояемостью и не оказывая негативного влияния на организм, способствовали бы активации обменных процессов, улучшению работы пищеварительной системы молодняка, повышению иммунного статуса, не увеличивая при этом себестоимость рационов. Цель работы – изучить влияние жидкой кормовой добавки «Бишомал» на физиологическое развитие, рост, конверсию корма, сохранность и продуктивные показатели цыплят-бройлеров, а также определить оптимальные дозы ее введения в рацион. **Материалы и методы.** В 14-дневном возрасте, по методу пар аналогов, были сформированы контрольная и три опытные группы цыплят-бройлеров кросса «Росс-308», по 100 голов в каждой. Птица контрольной группы получала основной рацион, тогда как опытным группам к тому же рациону добавляли в питьевую воду испытуемую жидкую подкормку. **Результаты.** Наиболее выраженный эффект был отмечен при выпойке готового раствора в концентрации 0,2 %, что проявлялось в более интенсивном росте живой массы, улучшении сохранности поголовья и более эффективной конверсии корма по сравнению с контрольной группой. **Вывод.** Включение в рацион цыплят-бройлеров жидкой водорастворимой минерально-органической кормовой добавки «Бишомал» оказало положительное влияние на продуктивные показатели птицы.

***Ключевые слова*:** *кормление цыплят-бройлеров, минерально-органические кормовые добавки, рационы цыплят-бройлеров, продуктивные показатели цыплят-бройлеров, прирост живой массы цыплят-бройлеров.*

Цитирование. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Хорошевская Л. В., Томиленко К. А. Влияние новой минерально-органической кормовой добавки «Бишомал» на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 343-350. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-38.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В современном птицеводстве особое внимание уделяется поиску способов повышения продуктивности цыплят-бройлеров. Одним из наиболее перспективных направлений является рациональная и сбалансированная система кормления, в которой значительное место отводится исследованиям по поиску и вводу в рационы птицы различных биологически активных компонентов природного происхождения, растительных экстрактов и растительных отходов основного производства.

Биологическая эффективность таких добавок определяется не только их минеральным составом, но и способностью влиять на обмен веществ, формирование кишечной микробиоты и физиологическое состояние пищеварительной системы [2, 10, 11, 12]. По данным исследований, включение в рацион пребиотических и органических компонентов способствует активизации полезной микрофлоры, улучшению процессов пищеварения и повышению продуктивных показателей бройлеров [3, 4]. При этом использование органических форм микроэлементов может быть более эффективным по сравнению с традиционными минеральными соединениями, поскольку они обладают большей биодоступностью и лучше усваиваются организмом птицы.

Важным направлением остается изучение новых кормовых средств, содержащих минеральные и органические компоненты в оптимальных сочетаниях [5, 7, 9]. Такие добавки способны не только восполнять потребности организма в отдельных элементах, но и оказывать положительное влияние на интенсивность роста, конверсию корма и общую резистентность птицы [1, 6, 8].

В связи с этим изучение новой минерально-органической кормовой добавки «Бишомал» представляет значительный научный и практический интерес. Оценка ее влияния на продуктивные показатели цыплят-бройлеров позволит определить перспективность применения данной добавки в промышленном птицеводстве и обосновать возможность ее дальнейшего использования в рационе птицы.

Материалы и методы. Минерально-органическая кормовая добавка «Бишомал» была разработана сотрудниками ГНУ НИИММП (г. Волгоград). В её основе – комбинация природных биологически активных компонентов: 10 % бишофита и 0,2 % яблочной кислоты. Для получения рабочего состава смесь разбавляют дистиллированной водой в пропорции 1:10 и добавляют в питьевую воду испытуемых бройлеров в соотношении 1:9.

Исследование проводилось в условиях ООО «Агрофирма Обломово» Светлоярского района Волгоградской области на поголовье цыплят-бройлеров современного мясного кросса «Росс-308» с 14-дневного возраста и до убоя в 42 дня. Содержание бройлеров для откорма напольное. Посадка суточного молодняка осуществлялась на подстилку из сухой, измельченной соломы, под брудеры с дополнительным обогревом и освещением.

В возрасте 14 дней цыплят-бройлеров распределили по группам методом пар аналогов: сформировали одну контрольную и три опытные группы по 100 голов в каждой. Птица контрольной группы получала стандартный рацион и питьевую воду без добавок. I опытная группа получала питьевую воду с испытуемой добавкой в концентрации 0,1 %, II опытная группа – в концентрации 0,2 %, а III опытная группа – в концентрации 0,3 %. Изучаемую минерально-органическую кормовую добавку «Бишомал» вводили опытным бройлерам в состав питьевой воды в различных концентрациях, что позволило оценить ее влияние на продуктивные и физиологические показатели птицы. При этом рацион кормления во всех опытных группах был идентичен рациону контрольной группы.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experimental scheme

Группы / Groups	Поголовье / Livestock	Состав рациона / The composition of the diet
Контроль / Control	100	ОР + питьевая вода без добавок / Basic Ration+ drinking water without additives
I опытная / test 1	100	ОР + питьевой раствор 0,1 % минерально-органической кормовой добавки «Бишомал» / Basic Ration + drinking solution of 0.1 % mineral-organic feed additive "Bishomal"
II опытная / test 2	100	ОР + питьевой раствор 0,2 % минерально-органической кормовой добавки «Бишомал» / Basic Ration + drinking solution of 0.2 % mineral-organic feed additive "Bishomal"
III опытная / test 3	100	ОР + питьевой раствор 0,3 % минерально–органической кормовой добавки «Бишомал» / Basic Ration + drinking solution of 0.3 % mineral-organic feed additive "Bishomal"

Условия содержания, фронт кормления и поения, параметры микроклимата в подопытных группах были одинаковыми и соответствовали рекомендациям ВНИТИП и требованиям к откорму бройлеров кросса Росс-308, установленным производителем кросса – фирмой АВИАГЕН.

В течение всего опыта ежедневно учитывали общее состояние цыплят, их поведение, поедаемость корма и потребление воды. Еженедельно проводили индивидуальное взвешивание птицы до утреннего кормления с последующим расчетом абсолютного, среднесуточного и относительного прироста живой массы. Перед началом опыта, в суточном возрасте, и по окончании опыта был произведен отбор крови. По завершении опыта был произведен принудительный убой испытуемого поголовья в соответствии с международными нормами гуманного обращения с птицей. Патологоанатомическое вскрытие цыплят выполняли по методикам ветеринарной клинической диагностики [И. П. Кондрахин, 2004]. Определение выхода и качества мяса бройлеров, а также его дегустационную оценку проводили в соответствии с действующими методиками и требованиями ГОСТ.

В ходе исследования был проведен комплексный анализ физиологического состояния и пищевой ценности продукции, полученной от опытной птицы. Особое внимание уделялось оценке гематологических параметров и состава белковых фракций крови. Исследования осуществлялись в аккредитованной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП, что гарантирует соблюдение строгих стандартов качества и достоверность результатов. Для определения гематологических показателей применялся современный автоматический гематологический анализатор URiT 3020 Vet Plus (Китай). В мясе бройлеров определяли массовую долю влаги, сухого вещества, жира, белка, а также содержание аминокислот. Эти данные важны для оценки питательной ценности мясной продукции и ее соответствия установленным нормативам. Исследования проводились в комплексной аналитической лаборатории ГНУ НИИММП (г. Волгоград).

Результаты и обсуждение. Для сравнительной оценки продуктивного действия изучаемой кормовой добавки была проанализирована живая масса цыплят-бройлеров в начале и в конце опыта.

Таблица 2 – Основные производственные показатели поголовья бройлеров за период опыта, (n=100)
Table 2 – Main production indicators of broiler stock during the experimental period, (n=100)

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	Контроль / Control	I опыт / test I	II опыт / test II	III опыт / test III
Живая масса 1 головы в начале опыта, г / Live weight of 1 head at the beginning of the experiment, g	534,7±16,5	532,8±15,8	535,4±17,4	534,5±18,2
в 21 день, г / at 21 days, g	1020,4±9,2	1043,8±5,9	1137,6±14,3	1043,1±10,4
в 28 дней, г / at 28 days, g	1610,6±20,3	1661,5±21,8	1710,5±21,5	1642,4±20,7
в 35 дней, г / at 35 days, g	2262,6±24,7	2294,5±26,4	2347,5±28,1	2290,9±27,1
в 42 дня, при убое, г / 42 days before slaughter, g	2870,5±30,4	2897,4±31,2	2947,5±33,5	2898,7±32,7
Среднесуточный прирост, гр. / Average daily increase, gr.	83,42± 0,02	84,45± 0,02	86,15± 0,02	84,44± 0,02
Конверсия корма, ед. / Feed conversion, unit	1,52	1,53	1,55	1,52
Сохранность поголовья, % / Livestock safety, %	96,0	97,0	98,0	96,0
ИПБ / IPB	431,65	431,36	443,70	435,89

Живая масса бройлеров II опытной группы, где применялась кормовая добавка в концентрации 0,2 %, в момент убоя была на 2,67 % выше, чем в контроле, что свидетельствует о выраженном положительном эффекте данной дозировки. Живая масса птицы I опытной группы (0,1 % добавки) превышала контрольный показатель на 0,93 %. В III опытной группе живая масса составила 2898,7 г, что на 0,97 % выше контроля, однако данный прирост уступал результатам II опытной группы.

Среднесуточный прирост живой массы во II опытной группе достиг 86,15 г, превысив контроль на 3,29 %, что отражает максимальную интенсивность роста при оптимальной дозе добавки. В I и III опытных группах среднесуточный прирост был практически идентичен (84,45 г и 84,44 г соответственно) и превышал контроль лишь на 1,24 %.

По результатам эксперимента сохранность поголовья в I опытной группе превысила контрольный показатель на 1 %, а во II опытной группе – на 2 %. В III опытной группе сохранность осталась на уровне контроля (рисунок 1).

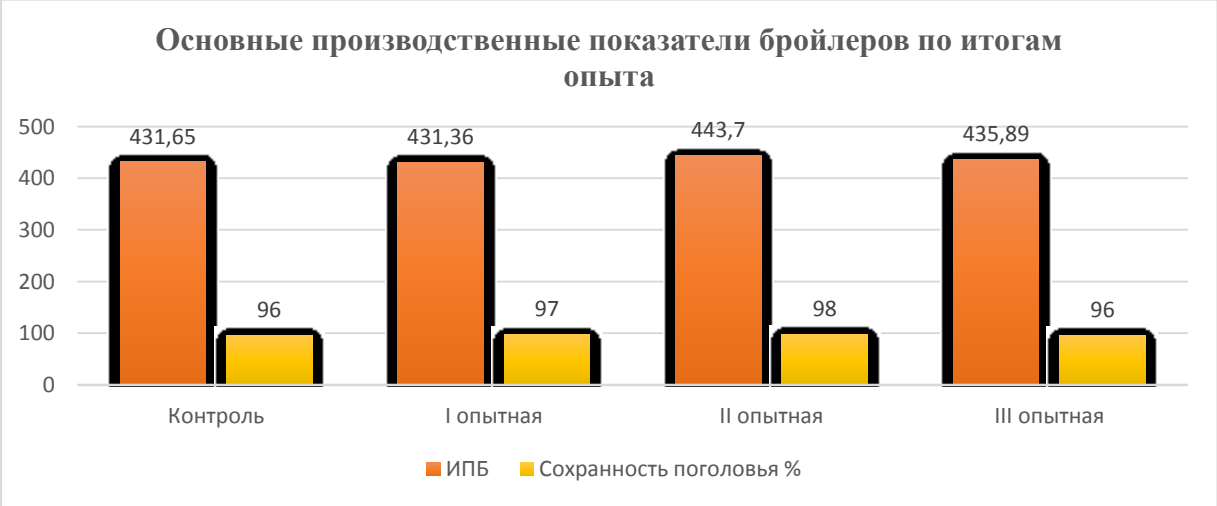


Рисунок 1 – Основные производственные показатели бройлеров по итогам опыта
Figure 1 – The main production indicators of broilers based on the results of the experience

Индекс продуктивности бройлеров (ИПБ) во II опытной группе достиг максимального значения – 443,70 единиц, превысив контрольный показатель на 2,8 %. В I опытной группе ИПБ практически соответствовал контрольному уровню, а в III опытной группе превысил его на 1,0 %, однако остался существенно ниже показателя II опытной группы.

О характере белкового обмена у цыплят судят на основании данных о концентрации общего белка и его фракций в сыворотке крови (таблица 3).

Таблица 3 – Биохимический состав плазмы крови бройлеров по итогам опыта, (n=5)
Table 3 – Biochemical composition of blood plasma of broilers based on the results of the experiment, (n=5)

Наименование показателя / Name of the indicator	Группа / Group			
	Контроль / Control	I опыт / test I	II опыт / test II	III опыт / test III
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	39,31±0,17	40,25±0,14	41,34±0,12	40,31±0,14
Альбумины, % / Albumins, %	14,42±0,03	15,18±0,04	16,32±0,08	15,81±0,08
Глобулины, % / Globulins, %	21,11±0,12	22,34±0,13	24,72±0,11	22,84±0,11
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	3,41±0,05	3,51±0,07	3,84±0,08	3,68±0,05
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	1,89±0,03	2,12±0,05	2,51±0,05	2,34±0,04
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	2,31±0,02	3,49±0,04	3,85±0,03	2,95±0,01

В ходе исследования выявлены статистически значимые различия в содержании общего белка между контрольной и опытными группами. Так, в I опытной группе уровень общего белка оказался выше контрольного значения на 2,39 %, в III опытной – на 2,54 %, а наиболее существенное увеличение зафиксировано во II опытной группе – на 5,16 % по сравнению с контролем.

Наиболее выраженное увеличение доли альбуминов отмечено во II опытной группе – на 13,18 % по отношению к контрольной группе, что указывает на улучшение транспортной функции крови и усиление синтеза функциональных белков. Концентрация глобулинов также существенно возросла во всех опытных группах, достигнув наибольшего значения во II опытной группе (на 17,05 % выше контроля), что может отражать активацию защитных и иммунных реакций организма бройлеров.

Применение кормовой добавки оказало благоприятное воздействие на минеральный состав организма птиц. Во II опытной группе зафиксировано повышение уровня кальция – его концентрация превысила контрольные значения на 12,61 % ($P < 0,05$), фосфора – на 32,80 % ($P < 0,05$). Это свидетельствует об улучшении усвоения минеральных веществ и активизации процессов, связанных с энергетическим и костным метаболизмом.

Вместе с тем в опытных группах наблюдалось повышение концентрации мочевины: в I опытной группе – на 51,08 % ($P < 0,05$), во II опытной – на 66,67 % ($P < 0,01$), в III опытной – на 27,71 % ($P < 0,05$) по сравнению с контролем. Данный факт отражает интенсификацию азотистого обмена и усиленный катаболизм аминокислот, который в сочетании с ростом общего белка и альбуминов указывает на высокую напряжённость метаболических процессов, обусловленную активным ростом мышечной массы птицы.

Для оценки воздействия исследуемой кормовой добавки на показатели мясной продуктивности и качественные характеристики мяса, в конце опыта осуществили контрольный убой – из каждой группы отобрали по 5 птиц.

Таблица 4 – Показатели качества мясной продуктивности цыплят-бройлеров при использовании новой кормовой добавки, (n=5)
Table 4 – Meat quality indicators of broiler chickens using a new feed additive, (n=5)

Наименование показателя / Indicator name	Группа / Group			
	Контроль / Control	I опыт / test I	II опыт / test II	III опыт / test III
Живая масса 1 гол. бройлера при убое, г / Live weight of 1 broiler at slaughter, g	2870,5	2897,4	2947,5	2898,7
Средняя масса потрошеной тушки, г / Average weight of gutted carcass, g	2095,5	2115,1	2151,7	2106,6
Убойный выход тушки, % / Slaughter yield of carcass, %	73 %	73 %	73 %	73 %
Убойный выход субпродуктов, % / Slaughter yield of by-products, %	10,5 %	11,0	11,0	11,0
Получено продукции / Products received				
Получено валовой живой массы от всего поголовья, кг / Gross live weight obtained from the entire herd, kg	276,0	281,05	288,86	278,30
Получено всего мяса, кг / Total meat obtained, kg	201,1	205,16	210,87	202,23
Получено всего субпродуктов, кг / Total by-products obtained, kg	27,6	30,92	31,77	30,47
Выход тушек 1-го сорта, % / Yield of first-grade carcasses, %	100	100	100	100

Согласно данным таблицы, убойный выход тушки во всех группах оставался на одинаковом уровне и составлял 73 %, что свидетельствует о сохранении соотношения между живой массой и массой тушки независимо от применения добавки. У опытных групп отмечено увеличение выхода субпродуктов. В контроле данный показатель составил 10,5 %, в I, II и III опытных группах он достигал 11,0 %, что выше на 0,5 %.

Результаты по объему полученной продукции демонстрируют, что использование добавки в концентрации 0,2 % дает преимущества. Во II опытной группе было получено 210,87 кг мяса, что на 4,87 % больше, чем в контрольной группе. Количество субпродуктов в этой же группе на 15,11 % больше, чем в контроле. В I и III опытных группах показатели выхода мяса и субпродуктов также превышали контрольные значения, однако уступали результатам II опытной группы.

Особое значение имеет показатель сортности тушек, поскольку во всех группах, включая контрольную, выход тушек первого сорта составил 100 %. Это свидетельствует о высоком качестве полученной продукции и отсутствии отрицательного влияния изучаемой добавки на товарные характеристики мяса.

Выводы. Проведённые исследования позволяют сделать вывод о положительном влиянии изучаемой кормовой добавки на продуктивность и биохимический статус цыплят-бройлеров. Анализ полученных данных, включая показатели мясной продуктивности, а также уровни общего белка, белковых фракций, минеральных элементов и мочевины в сыворотке крови, демонстрирует комплексное действие добавки на метаболические процессы в организме птицы.

Установлено, что применение добавки во всех опытных группах способствовало увеличению живой массы бройлеров при убое, а также росту валовых объёмов полученной мясной продукции и субпродуктов. При этом убойный выход тушки оставался стабильным на уровне 73 % во всех группах, что свидетельствует о сохранении пропорциональности между живой массой и массой товарной тушки.

Биохимические исследования сыворотки крови подтвердили активизацию обменных процессов под влиянием добавки. Во всех опытных группах отмечено повышение уровня общего белка, альбуминов и глобулинов, причём максимальные значения зафиксированы во II опытной группе. Это указывает на усиление анаболических процессов, улучшение транспортной функции крови и активацию защитных реакций организма.

На основании полученных данных можно заключить, что применение новой жидкой водорастворимой минерально-органической кормовой добавки «Бишомал» является целесообразным. Наиболее эффективной признана концентрация 0,2 % в питьевой воде, обеспечивающая лучшие результаты по живой массе, сохранности и использованию корма, а также биохимического статуса бройлеров, что позволяет рекомендовать ее для дальнейшего изучения и практического применения в промышленном птицеводстве.

Conclusions. The conducted studies allow us to conclude that the studied feed additive has a positive effect on the productivity and biochemical status of broiler chickens. The analysis of the obtained data, including indicators of meat productivity, as well as the levels of total protein, protein fractions, mineral elements, and urea in the blood serum, demonstrates the complex effect of the additive on metabolic processes in the poultry body.

It was found that the use of the additive in all experimental groups contributed to an increase in the live weight of broilers at slaughter, as well as an increase in the gross volume of meat products and by-products. At the same time, the slaughter yield of the carcass remained stable at 73 % in all groups, which indicates that the proportionality between the live weight and the weight of the marketable carcass was maintained.

Biochemical studies of the blood serum confirmed the activation of metabolic processes under the influence of the additive. In all experimental groups, there was an increase in the levels of total protein, albumins, and globulins, with the highest values recorded in the second experimental group. This indicates an increase in anabolic processes, improved blood transport function, and activation of the body's defense mechanisms.

Based on the data obtained, it can be concluded that the use of the new liquid water-soluble mineral-organic feed additive "Bishomal" is advisable. The most effective concentration was found to be 0.2 % in drinking water, which provided the best results in terms of live weight, feed conservation, and feed utilization, as well as the biochemical status of the broilers, making it suitable for further study and practical application in industrial poultry farming.

Библиографический список

1. Бачинская В. М., Дельцов А. А., Гончар Д. В. Применение кормовой добавки «Абиотоник» в птицеводстве. Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2021. № 10. С. 72-78.
2. Дубровин А. В. и др. Проблема устойчивости микроорганизмов в птицеводстве: обзор. Птицеводство. 2023. № 2. С. 31-36.
3. Иванищева А. П., Сизова Е. А. Влияние органо-минеральной кормовой добавки на переваримость и морфо-биохимический состав крови цыплят-бройлеров. Сборник научных трудов СКНИИЖ. 2024. № 1.
4. Иванищева А. П., Сизова Е. А., Камирова А. М., Мусабаева Л. Л. Влияние органоминеральной кормовой добавки на продуктивность и биохимические показатели цыплят-бройлеров. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 8. С. 75-84.
5. Даниленко И. Ю. и др. Использование альтернативных кормовых продуктов в птицеводстве. Вестник Алтайского ГАУ. 2022. № 4 (210). С. 72-76.
6. Лыкасова И. А., Мижевикина А. С., Савостина Т. В. Результаты применения кормовых добавок в промышленном птицеводстве. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (102). С. 319-324.
7. Мижевикина А. С. и др. Изменения в минеральном обмене цыплят-бройлеров на фоне введения новой кормовой добавки. Научный вестник Южно-Уральского ГАУ. 2026. № 1 (4).
8. Мижевикина Ю. А., Мижевикина А. С. Изменение живой массы и внутренних органов цыплят-бройлеров при применении кормовой добавки Цитримин. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2026. № 2 (118). С. 276-282.
9. Сложенкина М. И., Калинина Н. В., Абрамов С. В., Балышев А. В., Струк Е. А., Горлов И. Ф. Влияние новой сапонитсодержащей кормовой добавки на продуктивные качества цыплят-бройлеров. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 5. С. 75-78.
10. Стрельникова И. И., Кислицына Н. А. Эффективность применения фитобиотиков в птицеводстве. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2020. Т. 6. № 4. С. 433-444.
11. Тузиков Р. А., Лебедев С. В., Шейда Е. В., Аринжанова М. С. Влияние кормовой добавки с пробиотиком и комплексом глицинатов на качество мяса цыплят-бройлеров. Аграрный научный журнал. 2024. № 2. С. 88-94.
12. Хохлова А. П., Маслова Н. А., Попова О. А. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров при включении в рацион кормовых добавок. Известия Коми научного центра УрО РАН. 2026. № 1 (86). С. 123-129.

References

1. Bachinskaya V. M., Deltsov A. A., Gonchar D. V. Use of the feed additive "Abiotonic" in poultry farming. Veterinary science, animal science and biotechnology. 2021. No 10. P. 72-78.
2. Dubrovin A. V. et al. The problem of microorganism resistance in poultry farming: review. Poultry farming. 2023. No 2. Pp. 31-36.
3. Ivanishcheva A. P., Sizova E. A. The influence of organic and mineral feed additives on the digestibility and morpho-biochemical composition of the blood of broiler chickens. Collection of scientific papers of the SKNIIZh. 2024. No 1.
4. Ivanishcheva A. P., Sizova E. A., Kamirova A. M., Musabaeva L. L. Influence of organomineral feed additive on productivity and biochemical parameters of broiler chickens. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2023. V. 53. No 8. Pp. 75-84.
5. Danilenko I. Yu. et al. Use of alternative feed products in poultry farming. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022. No 4 (210). Pp. 72-76.
6. Lykasova I. A., Mizhevikina A. S., Savostina T. V. Results of using feed additives in industrial poultry farming. Bulletin of Orenburg State Agrarian University. 2023. No 4 (102). Pp. 319-324.
7. Mizhevikina A. S. et al. Changes in the mineral metabolism of broiler chickens against the background of the introduction of a new feed additive. Scientific Bulletin of the South Ural State Agrarian University. 2026. No 1 (4).
8. Mizhevikina Yu. A., Mizhevikina A. S. Changes in live weight and internal organs of broiler chickens when using the feed additive Citrimin. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2026. No 2 (118). Pp. 276-282.
9. Slozhenkina M. I., Kalinina N. V., Abramov S. V., Balyshev A. V., Struk E. A., Gorlov I. F. Influence of a new saponite-containing feed additive on the productive qualities of broiler chickens. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2024. No 5. Pp. 75-78.
10. Strelnikova I. I., Kislitsyna N. A. Efficiency of phytobiotic use in poultry farming. Bulletin of the Mari State University. Series "Agricultural Sciences. Economic Sciences". 2020. V. 6. No 4. Pp. 433-444.
11. Tuzikov R. A., Lebedev S. V., Sheida E. V., Arinzhanova M. S. Effect of a feed additive with a probiotic and a complex of glycinates on the quality of broiler chicken meat. Agrarian Scientific Journal. 2024. No 2. Pp. 88-94.
12. Khokhlova A. P., Maslova N. A., O. A. Popova O. A. Meat productivity of broiler chickens with the inclusion of feed additives in the diet. Bulletin of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2026. No 1 (86). Pp. 123-129.

Информация об авторах

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6); заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Сложенкина Марина Ивановна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6); профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Хорошевская Людмила Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий специалист, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0007-6693-9714, e-mail: niimmp@mail.ru
Томиленко Ксения Андреевна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0000-0960-5610, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru
Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Professor of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru
Khoroshevskaya Lyudmila Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Specialist, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0009-0007-6693-9714, e-mail: niimmp@mail.ru
Tomilenko Ksenia Andreevna, laboratory researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0009-0000-0960-5610, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-39

THE PIG PRODUCTIVITY INCREASING WITH THE NEW FEED ADDITIVE USAGE

[1,2]Slozhenkina M. I., [1,2]Gorlov I. F., [1]Mosolova N. I., [1]Shmalyuk A. P., [1]Sova I. A.

[1]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
[2]Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author e-mail: niimmp@mail.ru

Received 09.04.2026 Submitted 15.07.2026

The work was carried out under the grant of the Russian Science Foundation № 25-16-00303.

Abstract

Introduction. The relevance of this study is determined by the urgent need to increase the productivity and economic efficiency of modern pig breeding complexes, which requires the continuous search and implementation of innovative solutions in animal feeding. One of the key tasks in this area is the development and application of effective feed additives that contribute to the comprehensive improvement of growth, general health and, as a result, the quality of the final meat products. In the context of modern challenges, the new feed additive «Nutamar Plus», developed by specialists of the Volga Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, is a promising biotechnological solution. **The object** of research in this work was pigs of a large white breed, as well as the latest feed additive «NutAmar Plus» itself and specially designed granulated feed enriched with it in various concentrations. **Materials and methods** included field experiments on the basis of the Lenin breeding farm, located in the Surovikinsky district of the Volgograd region, attractive from the point of view of agricultural production. During the experiments, three options for the dosage of the supplement were studied: 3 %, 5 % and 7 % of the total diet, which made it possible to identify the optimal levels of its use. To ensure the scientific reliability and objectivity of the data obtained, a full range of analytical studies, including the determination of biochemical blood parameters and an examination of meat quality, was carried out in the accredited laboratory of the Scientific and Innovation Center New Biotechnologies LLC. The quality of meat products was assessed strictly in accordance with the current state standards: GOST 31476-2012 for assessing pork carcasses, as well as GOST 7269-2015 and GOST 9959-2015, which regulate sampling and organoleptic methods for determining the freshness and quality of meat. **Results** demonstrated the pronounced stimulating effect of the «NutAmar Plus» feed additive. There was a statistically significant increase in the target productive indicators: live weight of animals in the study groups, which ranged from 5,09 % to 7,59 % to the control group. In addition, a detailed analysis of biochemical blood parameters confirmed the positive complex effect of NutAmar Plus on the physiological state of animals, in particular, on improving metabolic processes and increasing the efficiency of the immune system. An important aspect of the economic indicators was a significant improvement in feed conversion, which decreased by 3,3 %-7,7 %, which directly indicates a more rational use of diet nutrients. It is noteworthy that the use of the additive also had a positive effect on the organoleptic properties of meat, improving its taste and texture characteristics, which is an important factor for consumer attractiveness of products. Thus, the work done convincingly proves the high zootechnical feasibility and undoubted economic feasibility of enriching the diets of large white pigs with the promising feed additive «NutAmar Plus», which contributes to a comprehensive increase in their productivity, improved health and high quality of the final meat products.

Keywords: *pig farming, pig productivity, prebiotic feed additives, Nutamar Plus, pig meat quality, and feed conversion.*

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolova N. I., Shmalyuk A. P., Sova I. A. The pig productivity increasing with the new feed additive usage. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 350-359 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-39.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors took part in the preparation and conduct of the study and analysis of its results. The presented version of the article was agreed with all authors.
Conflict of interest. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.4.087.7

ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СВИНЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НОВОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

[1,2]Сложенкина М. И., *доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН*
[1,2]Горлов И. Ф., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
[1]Мосолова Н. И., *доктор биологических наук, старший научный сотрудник*
[1]Шмалюк А. П., *аспирант, лаборант-исследователь*
[1]Сова И. А., *лаборант-исследователь*

[1]ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции»
[2] ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках гранта РНФ №25-16-00303.

Актуальность данного исследования определяется острой потребностью в повышении продуктивности и экономической эффективности современных свиноводческих комплексов, что требует непрерывного поиска и внедрения инновационных решений в кормлении животных. Одной из ключевых задач в этой области является разработка и применение эффективных кормовых добавок, способствующих комплексному улучшению роста, общего состояния здоровья и, как следствие, качества конечной мясной продукции. В контексте современных представлений новая кормовая добавка «НутАмар Плюс», разработанная учеными Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции, представляет собой перспективное биотехнологическое решение. **Объектом исследования** в данной работе выступили свиньи крупной белой породы, а также новая кормовая добавка «НутАмар Плюс» и специально разработанные гранулированные корма, обогащенные ею в различных концентрациях. **Материалы и методы** исследования включали проведение опытов на базе племенного хозяйства имени Ленина, расположенного в Суровикинском районе Волгоградской области. В ходе экспериментов были изучены три варианта дозировки добавки: 3 %, 5 % и 7 % от общего рациона кормления, что позволило выявить оптимальные уровни ее применения. Для обеспечения научной достоверности и объективности полученных данных полный спектр аналитических исследований, включая определение биохимических показателей крови и экспертизу качества мяса, осуществлялся в аккредитованной лаборатории ГНУ НИИММП. Оценка качества мясной продукции проводилась строго в соответствии с действующими государственными стандартами: ГОСТ 31476-2012 для оценки свиных туш, а также ГОСТ 7269-2015 и ГОСТ 9959-2015, регламентирующими отбор проб и органолептические методы определения свежести и качества мяса. **Результаты** продемонстрировали выраженное стимулирующее действие кормовой добавки «НутАмар Плюс». Было зафиксировано статистически значимое увеличение целевых продуктивных показателей: живой массы животных в исследуемых группах, которое составило от 5,09 до 7,59 % по сравнению с контрольной группой. Кроме того, детальный анализ биохимических показателей крови подтвердил позитивное комплексное воздействие «НутАмар Плюс» на физиологическое состояние животных, в частности на улучшение обменных процессов и повышение эффективности функционирования иммунной системы. Важным аспектом экономических показателей стало существенное улучшение конверсии корма (на 3,3-7,7 %), что прямо указывает на более рациональное использование питательных веществ рациона. Установлено, что применение кормовой добавки также оказало положительное влияние на органолептические свойства мяса, улучшив его вкусовые и текстурные характеристики, что является важным фактором для потребительской привлекательности продукции. Таким образом, выполненная работа доказывает высокую зоотехническую целесообразность и несомненную экономическую обоснованность обогащения рационов свиней крупной белой породы перспективной кормовой добавкой «НутАмар Плюс», что способствует комплексному повышению их продуктивности, улучшению состояния здоровья и обеспечению высокого качества конечной мясной продукции.

Ключевые слова: *свиноводство, продуктивность свиней, пребиотические кормовые добавки, «НутАмар Плюс», качество мяса свиней, конверсия корма.*

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Шмалюк А. П., Сова И. А. Повышение продуктивности свиней при использовании новой кормовой добавки. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 350-359. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-39.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, разработке методики и проведении экспериментального исследования, а также анализе полученных результатов. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Свиноводство является одним из ведущих направлений в современном агропромышленном комплексе, представляя собой высокотехнологичную и динамично развивающуюся отрасль. Этот вид животноводства обладает значительным потенциалом для наиболее полного удовлетворения потребностей населения страны в высококачественной мясной продукции [1, 2]. Для поддержания и дальнейшего роста высоких показателей продуктивности, помимо обеспечения непрерывного доступа к сбалансированной и полноценной кормовой базе, критически важным становится внедрение и применение инновационных, передовых методик в области выращивания и содержания сельскохозяйственных животных. Особое значение в этом контексте приобретает использование экологически безопасных и натуральных биологически активных веществ (БАВ). Эти вещества играют ключевую роль в оптимизации процессов пищеварения, повышении эффективности усвоения питательных веществ из кормов, стимулировании процессов интенсивного роста и полноценного развития организма животных. Кроме того, применение БАВ способствует значительному улучшению показателя сохранности поголовья и снижению рисков возникновения различных заболеваний и падежа [3, 4].

Эффективность современного свиноводства напрямую коррелирует с качеством применяемых рационов кормления, особенно в условиях внедрения альтернативных источников питательных веществ, обладающих высокой биологической ценностью. Стандартные, традиционные кормовые компоненты зачастую не способны в полной мере удовлетворить возрастающие потребности в питательных веществах у современных высокопродуктивных пород свиней. Помимо этого, существует проблема нестабильности формирования цен на традиционные корма, а также выраженная зависимость от импортных поставок, ярким примером чего является соевый шрот. Подобные факторы несут в себе существенные риски для стабильного функционирования и дальнейшего развития отрасли. В связи с этим первостепенное значение приобретает активный поиск и разработка отечественных, доступных источников белковых соединений и биологически активных веществ [5]. Целью таких исследований является оптимизация процесса конверсии корма в продукцию, повышение естественной резистентности организма животных к различным заболеваниям, а также существенное снижение себестоимости производства. Одним из перспективных направлений в достижении этих целей является рациональное использование побочных (вторичных) ресурсов, образующихся при переработке различных сельскохозяйственных культур, таких как кукуруза, амарант, нут и др. [6, 7].

Кроме того, для производства высококачественной свинины, полного раскрытия генетического потенциала животных и достижения высоких экономических показателей крайне важно обеспечить их стрессоустойчивость [8].

Исследования в области кормовых добавок имеют большое значение для улучшения показателей откорма, увеличения живой массы и общего состояния здоровья животных [9].

Для достижения максимальной продуктивности и крепкого здоровья свиней разработана натуральная кормовая добавка «НутАмар Плюс». Эта сбалансированная смесь эффективно оптимизирует рацион животных, обеспечивая их всеми необходимыми питательными веществами. Она содержит нут нового сорта Приво 11 (28,0 %), который является источником протеинов, углеводов и витаминов группы В. Амарантовый жмых (22,0 %) обогащает рацион белком, железом и кальцием, способствуя развитию костной ткани и улучшая усвоение полезных веществ. Кукурузный изомальтоолигосахарид (18,0 %) улучшает пищеварение и усвоение корма, а лактувет (14,0 %), с его высоким содержанием лактулозы (не менее 14,3 %), формирует здоровую микрофлору кишечника, стимулирует иммунитет и улучшает пищеварительные процессы. Донской кальцид (15,0 %) обеспечивает организм свиней биодоступным кальцием для крепких костей и поддержания общего баланса. Яблочная

кислота (3,0 %) в составе добавки подавляет рост вредных бактерий, улучшает вкусовые качества корма, повышает аппетит, поддерживает оптимальный кислотно-щелочной баланс и способствует размножению полезных микроорганизмов. В результате применения «НутАмар Плюс» свиньи получают комплексную поддержку для роста, развития и устойчивости к заболеваниям.

Объект исследования. Объектом исследования является кормовая добавка «НутАмар Плюс». Научная работа проведена на молодняке свиней крупной белой породы с целью изучения влияния объекта исследования на формирование их хозяйственно-полезных качеств, интенсивность роста и эффективность использования питательных веществ рациона.

Материал и методы. Поволжским научно-исследовательским институтом производства и переработки мясомолочной продукции была разработана и внедрена технология изготовления кормовой добавки под названием «НутАмар Плюс». Производителем данной добавки является ООО НВЦ «Новые биотехнологии».

На базе племенного хозяйства имени Ленина (Суровикинский район Волгоградской области) были проведены исследования, посвященные откорму свиней с использованием рассматриваемой кормовой добавки. Анализ результатов и лабораторные исследования осуществлялись сотрудниками комплексной лаборатории ГНУ НИИММП.

Опыт проводился на свиньях крупной белой породы в период с 60-дневного возраста до достижения ими 8 месяцев. Для оценки влияния различных рационов на набор массы свиньями был организован двухэтапный эксперимент. Первый этап, длившийся с 2 до 6 месяцев, был направлен на достижение животными массы в пределах 82-90 кг. Второй этап, продолжавшийся с 6 до 8 месяцев, был посвящен дальнейшему увеличению массы свиней до 115-124 кг.

Для эксперимента было подобрано шестьдесят поросят, достигших 60-дневного возраста и массы 25,3-26,7 кг. Животные были разделены на четыре группы, по пятнадцать особей в каждой. Все поросята получали одинаковый, специально разработанный для них рацион дважды в сутки. Доступ к воде был постоянным. Условия содержания и параметры микроклимата были идентичны для всех групп.

Животные контрольной группы получали стандартный комбикорм СК-6 без добавок. Рационы поросят опытных групп на начальном этапе эксперимента включали тот же комбикорм с добавлением кормовой добавки «НутАмар Плюс» в различной дозировке: для 1-й опытной группы – 3 %, для 2-й опытной группы – 5 %, для 3-й опытной группы – 7 %.

На втором этапе исследований животные контрольной группы получали комбикорм СК-7 без добавок. Рационы свиней опытных групп включали тот же комбикорм с добавлением кормовой добавки «НутАмар Плюс» в следующих дозировках: 3; 5 и 7 % соответственно для 1-й, 2-й и 3-й опытных групп.

Исследование проводилось с использованием общепринятых лабораторных методик. Для оценки сбалансированности питания и общего состояния здоровья подопытного поголовья регулярно проводился анализ морфологического и биохимического состава крови. Образцы крови для анализа отбирались из хвостовой вены у всех исследуемых животных перед утренним кормлением.

Для оценки динамики живой массы был организован индивидуальный учёт. Взвешивание животных осуществлялось непосредственно перед утренним кормлением: первое – в начале эксперимента, последующие – с интервалом в один месяц.

Убой свиней проводился в соответствии с методикой ВАСХНИЛ (1987 г.) в специально оборудованном помещении предприятия. По окончании эксперимента для дальнейшего анализа были отобраны по три особи из каждой исследуемой группы.

Оценка качества свиных туш проводилась на основе стандартов ГОСТ 31476-2012 «Свиньи для убоя. Свинина в тушах и полутушах. Технические условия». Качественные характеристики мясной продукции определялись согласно требованиям ГОСТ 7269-2015 «Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести» и ГОСТ 9959-2015 «Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки».

В сертифицированной лаборатории ГНУ НИИММП с помощью автоматического гематологического анализатора URIT 3020 VetPlus (URIT Medical Electronic Co., Ltd., Китай) были изучены гематологические показатели, включая белковые фракции, количество эритроцитов и концентрацию гемоглобина.

Статистическую обработку цифрового материала проводили с использованием программы Microsoft Excel. Достоверность различий между средними арифметическими значениями оценивали по критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при уровнях вероятности: P < 0,05; P < 0,01; P < 0,001.

Результаты и обсуждение. В процессе эксперимента динамика массы тела животных в экспериментальной группе отслеживалась путем проведения индивидуальных измерений в начальный период исследования и далее с месячным интервалом, перед утренним кормлением.

Результаты анализа данных свидетельствуют о положительном влиянии включения кормовой добавки «НутАмар Плюс» в рацион свиней опытных групп на динамику роста и эффективность использования корма. Это привело к статистически значимому увеличению среднесуточного прироста и итоговой живой массы к 240-дневному возрасту.

В частности, абсолютный прирост живой массы в возрасте 240 дней у животных опытных групп превысил показатели контрольной группы на 5,09 % (1-я группа), 6,64 % (2-я группа) и 7,59 % (3-я группа). Анализ динамики живой массы показал, что, начиная с 90-дневного возраста, животные опытных групп достоверно (P < 0,05) превосходили контроль. В период с 120 до 240 дней это преимущество стало максимально выраженным и высокодостоверным (P < 0,01). Данный факт подтверждается увеличением среднесуточного прироста, который в опытных группах составил +6,06; +7,5 и +8,1 % соответственно по сравнению с контролем (таблица 1).

Таблица 1 – Основные результаты продуктивности поголовья на откорме,n = 15
Table 1 – Basic results of livestock productivity on fattening, n = 15

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	Контрольная / Control	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
Живая масса 1 головы, кг / Live weight for 1 head, kg				
В 60-дневном возрасте / At the 60 days of age	25,3 ± 0,23	25,7 ± 0,22	26,2 ± 0,24	26,7 ± 0,26
В 90-дневном возрасте / At the 90 days of age	40,8 ± 0,41	41,1 ± 0,44	41,7 ± 0,52*	41,8 ± 0,47*
В 120-дневном возрасте / At the 120 days of age	53,7 ± 0,53	56,6 ± 0,55***	59,8 ± 0,57***	60,6 ± 0,54***
В 150-дневном возрасте / At the 150 days of age	72,4 ± 0,84	76,7 ± 0,81**	77,6 ± 0,85***	79,1 ± 0,87***
В 180-дневном возрасте / At the 180 days of age	82,3 ± 0,82	84,8 ± 0,83**	85,2 ± 0,86**	90,3 ± 0,89***
В 210-дневном возрасте / At the 210 days of age	100,2 ± 0,94	101,8 ± 0,95*	105,7 ± 0,97***	107,3 ± 0,96***
В 240-дневном возрасте / At the 240 days of age	115,8 ± 0,92	121,7 ± 0,96***	123,5 ± 0,97***	124,6 ± 0,98***
Среднесуточный прирост, г / Average daily growth, g	502,8	533,3	540,6	543,9
Конверсия корма, кг / Feed conversion, kg	2,78	2,69	2,62	2,58
Сохранность поголовья, % / Pigs safety, %	100	100	100	100

Примечание: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001.
Note: * P < 0.05; * * P < 0.01; * * * P < 0.001.

Параллельно с этим, наблюдалось снижение коэффициента конверсии корма во всех опытных группах: на 3,3 % в 1-й опытной группе, на 5,3 % (при уровне значимости P < 0,001) во 2-й опытной группе и на 7,7 % в 3-й опытной группе. Максимальный прирост живой массы был зафиксирован во 2-й и 3-й опытных группах, которым в комбикорма СК-6 и СК-7 были добавлены 5 и 7 % испытуемой кормовой добавки «НутАмар Плюс» соответственно.

Исходные гематологические исследования пяти свиней из каждой группы не выявили никаких отклонений у животных, что свидетельствует об их отличном состоянии здоровья [10]. Тем не менее, в процессе эксперимента у свиней, получавших добавку, наметi-

лась положительная динамика по ряду ключевых биохимических показателей по сравнению с контрольной группой. Так, наблюдалось улучшение показателей, таких как уровень белка в сыворотке крови, активность ферментов печени и почек, а также снижение уровня липидов и холестерина. Эти изменения подтверждают положительное влияние добавки на метаболические процессы в организме животных и ее потенциал в качестве средства для улучшения здоровья и продуктивности свиней (рисунок 1).

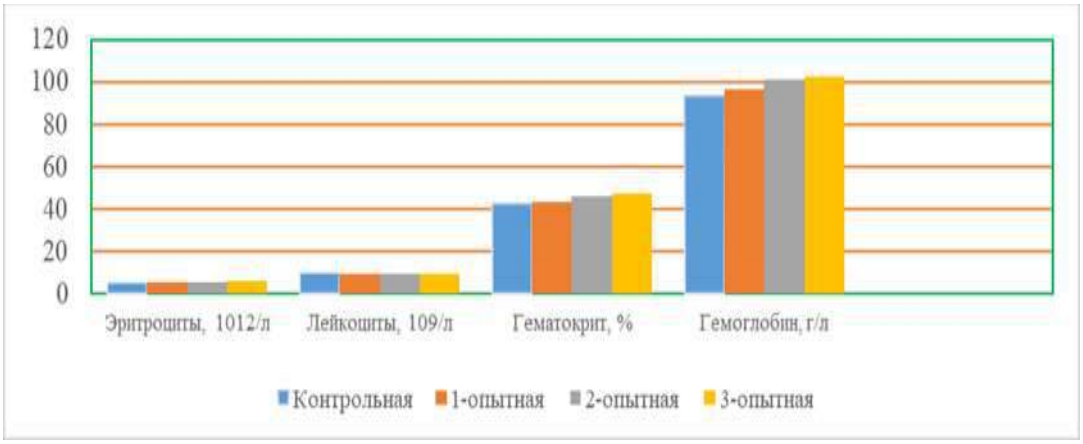


Рисунок 1 – Ключевые биохимические показатели у свиней по завершении эксперимента
Figure 1 – Key biochemical pigs parameters at the end of the experiment

Исследование показало, что в период откорма опытные группы свиней, получавшие кормовую добавку, продемонстрировали улучшение гематологических показателей по сравнению с контрольной группой. В 1-й опытной группе было зафиксировано статистически значимое увеличение содержания эритроцитов на 4,82 % ($P < 0,05$) и гемоглобина на 3,5 % ($P < 0,01$) относительно контрольного уровня. Во 2-й опытной группе наблюдалось еще более выраженное повышение содержания эритроцитов на 6,15 % ($P < 0,01$) и гемоглобина на 6,8 % ($P < 0,01$). В 3-й опытной группе эти показатели составили 7,22 % ($P < 0,01$) для эритроцитов и 8,59 % ($P < 0,01$) для гемоглобина.

Кроме того, во всех опытных группах, где применялась добавка «НутАмар Плюс», отмечалось статистически значимое снижение уровня лейкоцитов по сравнению с контролем. Данный факт может свидетельствовать о модулирующем влиянии компонентов добавки на иммунную систему, что потенциально ведет к повышению резистентности организма к патогенным факторам [11].

По завершении экспериментальных исследований был проведен контрольный убой с последующей оценкой мясных характеристик туш. Анализ соотношения мышечной, жировой и костной ткани не выявил статистически значимых различий между опытными группами и контрольной, что отражено в таблице 2. Это указывает на то, что исследуемая кормовая добавка, несмотря на положительное влияние на гематологические показатели и иммунный статус, не оказывает существенного негативного или позитивного воздействия на качественные характеристики мясной продукции в данном исследовании. Тем не менее, стоит отметить, что дальнейшие исследования, возможно, с увеличением продолжительности эксперимента или изменением дозировки добавки, могли бы выявить более тонкие эффекты на формирование мясных качества. Очевидно, что для более полного понимания в дальнейшем целесообразно будет провести более глубокий анализ химического состава мяса.

Анализ убойных качеств свидетельствует о положительном влиянии применения кормовой добавки в рационе на продуктивность свиней. Оценка мясных качеств подопытного молодняка, получавшего инновационную кормовую добавку «НутАмар Плюс», проводилась, как было указано выше, по результатам контрольного убоя. Установлено, что животные опытных групп достоверно превосходили аналогов из контрольной группы по всем основным показателям ($P < 0,001$), при этом степень выраженности эффекта напрямую зависела от дозировки добавки. Так, в первой опытной группе предубойная живая масса была выше контроля на 4,7 %, убойная масса – на 6,4 %, масса окорока – на 0,7 %, а выход туши – на 1,3 %. Во второй опытной группе превосходство над контрольными значениями составило по предубойной массе 6,5 %, по убойной массе – 9,1 %, по массе окорока –

9,8 % и по выходу туши – 1,9 %. Наиболее выраженная динамика наблюдалась в третьей опытной группе, где предубойная масса превысила контроль на 7,2 %, убойная масса – на 10,1 %, масса окорока – на 13,8 %, а выход туши – на 2,2 %.

Таблица 2 – Результаты исследования мясной продуктивности свиней,n = 5
Table 2 – Pig meat productivity results, n = 5

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	Контрольная / Control	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
Средняя живая масса свиней в конце откорма, кг / Average live weight of pigs at the end of fattening, kg	115,8 ± 0,92	121,7 ± 0,96***	123,5 ± 0,97***	124,6 ± 0,98***
Предубойная масса свиней, кг / Pre-slaughter weight of pigs, kg	112,3 ± 0,57	117,6 ± 0,62***	119,6 ± 0,75***	120,4 ± 0,77
Убойная масса туши, кг / Slaughter weight of carcass, kg	86,8	92,4	94,7	95,6
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	77,2	78,5	79,1	79,4
Выход мышечной ткани, % / Muscle tissue yield, %	57,4	58,1	58,2	58,6
Выход жировой ткани, % / Fat tissue yield, %	30,2	30,8	31,5	31,1
Выход костной ткани, % / Bone tissue yield, %	12,4	11,1	10,3	10,3
Площадь «мышечного глазка», см / Area of the «muscular eye», cm	30,1	30,4	31,5	31,2
Масса окорока, кг / Weight of ham, kg	15,2 ± 0,51	16,3 ± 0,58	16,7 ± 0,60	17,3 ± 0,61
Толщина шпика над 6-7 грудным позвонком, мм / Thickness of fat above the 6th-7th thoracic vertebrae, mm	15,4	17,6	18,1	18,8
Категория упитанности в соответствии с Требованиями ГОСТ 31476-2012 / Fatness category in accordance with the requirements of GOST 31476-2012	2	2	2	2

Выращивание свиней крупной белой породы сального типа продуктивности направлено на получение высококачественного сырья для колбасного производства [12]. С целью верификации соответствия конечного продукта установленным стандартам по завершении эксперимента был проведён комплексный анализ химического состава шпика и его органолептических показателей (таблица 3).

Таблица 3 – Химический состав шпика, % n = 5
Table 3 – Speck chemical composition, % n=5

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	Контрольная / Control	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
Влага, % / Moisture, %	6,17 ± 0,12	5,91 ± 0,15	5,57 ± 0,19	5,18 ± 0,24
Протеин, % / Protein, %	1,96 ± 0,09	1,97 ± 0,08	1,99 ± 0,08	1,99 ± 0,07
Жир, % / Fat, %	91,28 ± 0,25	91,52 ± 0,24	91,79 ± 0,32	92,12 ± 0,26
Зола, % / Ash, %	0,59 ± 0,08	0,60 ± 0,06	0,65 ± 0,05	0,71 ±0,08

Как показали исследования, применение кормовой добавки «НутАмар Плюс» в 3-й опытной группе привело к заметному увеличению концентрации белка, жира и золы в шпике, а также к снижению содержания влаги. Эти изменения, наблюдаемые по сравнению с контрольной и другими группами, указывают на повышение энергетической ценности и зрелости жировой ткани животных, получавших данную добавку. Для всесторонней оценки качества мяса и шпика, включая его пищевую ценность и отсутствие влияния добавки на органолептические свойства, была проведена пятибалльная органолептическая оценка мяса и бульона (таблица 4).

Таблица 4 – Дегустационная оценка мяса и бульона, баллы, n = 5
Table 4 – Meatandbrothtastingscore, points, n=5

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	Контрольная / Control	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
Оценка мяса / Meat valuation				
Внешний вид / Appearance	7,9	8,2	8,4	8,6
Аромат / Aroma	8,7	8,5	8,7	8,7
Вкус / Taste	8,1	8,6	8,3	8,9
Консистенция / Consistency	7,9	8,0	8,4	9
Сочность / Juiciness	8,5	8,6	8,7	8,9
Общая оценка / Overall rating	8,1	8,3	8,5	8,8
Оценка бульона / Broth Evaluation				
Внешний вид / Appearance	7,9	8,2	8,3	8,6
Аромат / Aroma	8,3	8,5	8,6	8,7
Вкус / Taste	8,1	8,7	9	9
Наваристость / Richness	8,2	8,4	8,5	8,7
Общаяоценка / Overall rating	8,1	8,3	8,5	8,6

Результаты дегустационной оценки мяса и бульона показали положительную динамику качества продукции. Если контрольная группа имела хорошие базовые показатели, то мясо и бульон от животных 3-й опытной группы получили наиболее высокие оценки, что свидетельствует об улучшении потребительских свойств продукта при использовании кормовой добавки «НутАмар Плюс». Наибольший прирост баллов был отмечен по таким характеристикам, как вкус и аромат мяса и бульона, а также внешний вид мяса и наваристость бульона. Количественный анализ показал, что общая оценка мяса по сравнению с контролем выросла на 0,2 балла в 1-й опытной группе, на 0,4 балла во 2-й и на 0,7 балла в 3-й. Аналогично, оценка бульона увеличилась на 0,3 балла в 1-й группе и на 0,5 балла во 2-й и 3-й опытных группах.

Заключение. Результаты исследований свидетельствуют о положительном влиянии кормовой добавки «НутАмар Плюс» на продуктивные и качественные характеристики свиней. Установлено, что добавка оказывает стимулирующее действие на рост, проявляющееся в увеличении живой массы и среднесуточного прироста, с наиболее выраженными эффектами при включении в рацион в концентрациях 5 % и 7 % (соответственно 2-я и 3-я опытные группы). Наблюдалась положительная динамика гематологических показателей в опытных группах: зафиксировано увеличение содержания эритроцитов и гемоглобина, а также снижение уровня лейкоцитов, что коррелирует с улучшением общего состояния здоровья и повышением резистентности организма к патогенным факторам. По данным анализа убоя, отмечен рост убойной массы и выхода мяса, с пиковыми значениями в 3-й опытной группе; при этом соотношение основных тканевых компонентов туши не претерпело существенных изменений. Применение кормовой добавки «НутАмар Плюс» является перспективным инструментом для оптимизации количественных и качественных показателей свиноводческой продукции, а также для снижения производственных затрат.

Conclusion. The study results demonstrate the positive impact of the «NutAmar Plus» feed additive on the productivity and quality of pigs. The additive was found to stimulate growth, resulting in increased live weight and average daily gain, with the most pronounced effects when included in the diet at concentrations of 5 % and 7 % (in the 2nd and 3rd experimental groups, respectively). Positive changes in hematological parameters were observed in the experimental groups: increased red blood cell and hemoglobin levels, as well as a decrease in white blood cell levels, correlated with improved overall health and increased resistance to pathogens. Slaughter analysis showed an increase in slaughter weight and meat yield, with peak values in the 3rd experimental group; however, the ratio of the main tissue components in the carcass did not change significantly. The use of the feed additive «NutAmar Plus» is a promising tool for optimizing the quantitative and qualitative indicators of pig production, as well as for reducing production costs.

Библиографический список

1. Походня Г.С., Бреславец П. И., Бреславд Ю. П., Бреславед А. П., Кирьян К. И., Крючин Д. В., Кощаев А. Г. Рост, развитие и мясные качества некастрированных и кастрированных хрячков. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 7 (109). С. 226-231.

2. Власов А., Григорьев Д., Херувимских Е. Влияние препарата с монобутирином на рост и развитие поросят. Комбикорма. 2022. № 12. С. 46-47.

3. Лаврентьев А., Михайлова Л., Жестянова Л. Особенности выращивания поросят-сосунов. Животноводство России. 2023. № S1. С. 51-52.

4. Клименко А., Гущева-Митропольская А. Качество гранул: проблемы и предложения по их решению. Комбикорма. 2019. № 9. С. 57-61.

5. Сложенкина М., Мосолов А., Фролова М. Использование пребиотиков на основе лактулозы Животноводство России. 2022. № 1. С. 17-18.

6. Рябцева С. А. и др. Физиологические эффекты, механизмы действия и применение лактулозы. Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 2. С. 5-20.

7. Жучаев К. В., Кочнева М. Л., Осадчук Л. В., Борисенко Е. А., Папшев С. В. Онтогенетические особенности гормонального статуса и метаболического профиля свиней в условиях промышленной технологии. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 4. С.177-188.

8. Мотовилов К. Я., Волончук С. К., Науменко И. В., Резепин А. И. Технология производства сухого белково-углеводного композита кормового назначения с использованием вторичного сырья. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 72-75.

9. Алексеев А. Л., Бараников В. А., Барило О. Р. Жирнокислотный состав общих липидов шпика свиней различных пород и типов. Все о мясе. 2011. № 4. С. 48-49.

10. Абрамов С. В., Балышев А. В., Стародубова Ю. В., Невзорова А. А. Применение новой кормовой добавки на основе лецитина в кормлении поросят. Аграрно-пищевые инновации. 2024. Т. 28. № 4. С. 9-24.

11. Шахов А. Г., Сашнина Л. Ю., Владимирова Ю. Ю., Карманова Н. В. Состояние неспецифического иммунитета у поросят под влиянием технологического стресса. Ветеринарный фармакологический вестник. 2020. № 2 (11). С. 166-176.

12. Булгаков А. М., Кузнецов Д. В., Жуков М. В., Новиков Н. А. Повышение эффективности использования комбикормов для свиней с введением в их состав различных форм подкислителей. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 9 (155). С. 141-144.

References

1. Pokhodnya G. S., Breslavets P. I., Breslavd Yu. P., Breslaved A. P., Kiryan K. I., Kryuchin D. V., Koshchaev A. G. Growth, development and meat qualities of intact and castrated boars. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2023. No 7 (109). Pp. 226-231.

2. Vlasov A., Grigoriev D., Kheruvimskikh E. The effect of a drug with mono butyrin on the growth and development of piglets. Compound feed. 2022. No 12. Pp. 46-47.

3. Lavrentiev A., Mikhailova L., Zhestyanova L. Features of growing suckling piglets. Animal Husbandry of Russia. 2023. No. S1. Pp. 51-52.

4. Klimenko A., Gushcheva-Mitropol'skaya A. Pellet quality: problems and solutions. Compound feed. 2019. № 9. Pp. 57-61.

5. Slozhenkina M., Mosolov A., Frolova M. Use of lactulose-based prebiotics. Animal Husbandry of Russia. 2022. V. 1. Pp. 17-18.

6. Ryabtseva S. A. et al. Physiological effects, mechanisms of action and use of lactulose. Nutrition Issues. 2020. V. 89. No 2. Pp. 5-20.

7. Zhuchaev K. V., Kochneva M. L., Osadchuk L. V., Borisenko E. A., Papshev S. V. Ontogenetic features of hormonal status and metabolic profile of pigs in industrial technology. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024. No 4. Pp. 177-188.

8. Motovilov K. Ya., Volonchuk S. K., Naumenko I. V., Rezepin A. I. The technology of obtaining a dry protein-carbohydrate feed composite using recycled materials. Achievements of Science and Technology of AIC. 2020. No 34 (4). Pp. 72-75.

9. Alekseev A. L., Baranikov V. A., Barilo O. R. Fatty acid composition of total lipids of lard of pigs of different breeds and types. All about meat. 2011. No 4. Pp. 48-49.

10. Abramov S. V., Balyshev A. V., Starodubova Yu. V., Nevzorova A. A. Use of new feed additive based on lecithin in feeding piglets. Agrarian-and-food innovations. 2024. No 28 (4). Pp. 9-24.

11. Shakhov A. G., Vladimirova L. Yu., Karmanova N. V. The state of nonspecific immunity in piglets under the influence of technological stress. Veterinary Pharmacological Bulletin. 2020. No 2 (11). Pp. 166-176.

12. Bulgakov A. M., Kuznetsov D. V., Zhukov V. M., Novikov N. A. Imroving efficiency of formula feeds for pigs with various forms of acidulents in their composition. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017. No 155 (9). Pp. 141-144.

Информация об авторах

Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6); профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: slozhenkina@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции(Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID:https://orcid.org/0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолова Наталья Ивановна, доктор биологический наук, старший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6559-6595, e-mail: natali.niimmp@yandex.ru

Шмалюк Анастасия Петровна, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/ 0009-0008-0415-3211, e-mail: anastasia.tapilina@yandex.ru

Сова Ирина Алексеевна, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5072-387, e-mail: irisha.sova.01@mail.ru

Author's Information
Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6); Professor of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: slozhenkina@mail.ru
Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6); Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru
Mosolova Natalya Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, 6 Rokossovsky Str.), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6559-6595, e-mail: natali.niimmp@yandex.ru
Shmalyuk Anastasia Petrovna, Laboratory Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: https://orcid.org/ 0009-0008-0415-3211, e-mail: anastasia.tapilina@yandex.ru
Sova Irina Alekseevna, Laboratory Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5072-387, e-mail: irisha.sova.01@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-40

THE AMUR SLEEPER (*PERCCOTTUS GLENII DYBOWSKI*) BIOLOGICAL CHARACTERISTICS UNDER THE VARYING CONDITIONS IN THE TATARSTAN REPUBLIC AQUATIC ECOSYSTEMS

Kalaida M. L., Khamitova M. F., Mingazov N. R.

Kazan State Power Engineering Universit
Kazan, Tatarstan Republic, Russian Federation

Corresponding author E-mail: it-sk@bk.ru

Received 18.03.2026 Submitted 26.06.2026

Abstract

Introduction. The rational utilization of aquatic biological resources is predicated not only on the objective of increasing the catch volumes and aquaculture production of commercially valuable aquatic species, but also on the task of assessing the potential for utilizing low-value and "trash" species, which may serve as raw material resources for the production of feed for valuable fish species. One such species is the Amur sleeper (**Perccottus glenii* Dybowski*, 1877) – the abundant species that is currently not subject to commercial fishing. Subject of Study: The biology and ecology of the Amur sleeper in the water bodies of the Republic of Tatarstan. **Materials and methods.** The study utilized materials collected from the catches of recreational anglers in 2024 and 2025 within the waters of the Kazanka and Volga rivers, the mouth of the Sviyaga River, and the Mesha and Kama rivers in the Laishevo and Alekseevsky districts of the Tatarstan Republic as well as in small water bodies within the city of Kazan. Additionally, the analysis incorporated results derived from the maintenance, rearing, and reproduction of 12 individuals of the Amur sleeper (*Perccottus glenii*) in aquariums. **Results and conclusions.** The conducted study revealed that, in the water bodies of the Republic of Tatarstan, the Amur sleeper (*Perccottus glenii*) appears in the catches of recreational anglers with a frequency of approximately 40 %. Small lakes situated within urbanized areas account for 60.6 % of these catches. The absolute length of the Amur sleeper ranges from 10 to 25.5 cm, and its weight ranges from 13 to 336 g. The analysis of the collected data identified eight distinct age groups – ranging from 2 to 9 years old. The minimum length of a sexually mature female was recorded at 10.3 cm, with a corresponding weight of 10 g. Data regarding the size-weight characteristics of Amur sleepers across various age groups are presented. Additionally, specific details regarding the fractional spawning behavior of the species under aquarium conditions are outlined. An investigation into the biological and economic characteristics of the Amur sleeper within the diverse aquatic environments of the Middle Volga region leads to the conclusion that this species represents a promising candidate for aquaculture; specifically, for establishing localized populations in water bodies otherwise unsuitable for other fish species, and for subsequent utilization as a potential resource in the production of aquaculture feed.

Keywords: *Perccottus glenii Dybowski, Amur sleeper, Amur sleeper biological characteristics, Amur sleeper reproduction, cultivation of Amur goby, aquatic biological resources management.*

Citation. Kalaida M. L., Khamitova M. F., Mingazov N. R. The amur sleeper (*Perccottus glenii Dybowski*) biological characteristics under the varying conditions in the Tatarstan Republic aquatic ecosystems. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 359-369 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-40.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 639.2.05

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОЛОВЕШКИ-РОТАНА (*PERCCOTTUS GLENII DYBOWSKI*) В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Калайда М. Л., *доктор биологических наук, профессор*
Хамитова М. Ф., *кандидат биологических наук*
Мингазов Н. Р., *аспирант*

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Актуальность. Рациональное использование водных биоресурсов построено не только на стремлении увеличить объемы вылова и объемы выращивания ценных водных биологических объектов, но и на задачах оценки возможности использования малоценных и сорных видов, которые могут рассматриваться как сырьевые ресурсы в кормопроизводстве для ценных видов рыб. Одним из таких видов является головешка-ротан (*Perccottus glenii Dybowski*, 1877) – многочисленный и не вовлеченный в промысловый лов вид. **Объект.** Биология и экология головешки-ротана в водоемах Республики Татарстан. **Материалы и методы.** Использовались материалы, собранные из уловов рыбаков-любителей в 2024 и 2025 гг. на акваториях р. Казанки, р. Волги, в устье р. Свияги, р. Меше и р. Каме в Лаишевском и Алексеевском районах Республики Татарстан и на акваториях малых водоемов в г. Казани. Кроме них использовались для анализа результаты содержания, выращивания и воспроизводства в аквариумах 12 особей ротана. **Результаты и выводы.** Проведенное исследование показало, что в водоемах Республики Татарстан в уловах рыбаков-любителей ротан встречается с частотой около 40 %. 60,6 % уловов приходится на малые озера на урбанизированных территориях. Абсолютная длина ротана – от 10 до 25,5 см, а масса – от 13 до 336 г. Анализ собранных материалов выявил 8 возрастных групп ротанов – от 2 до 9 лет. Минимальная длина половозрелой самки – 10,3 см при массе – 10 г. Приведены данные по размерно-весовым характеристикам ротана разного возраста. Приведены особенности порционного икрометания в аквариумных условиях. Исследование биологических и хозяйственных особенностей головешки-ротана в условиях разных водоемов Среднего Поволжья позволяет сделать вывод, что он является перспективным объектом аквакультуры для создания локальных популяций в водоемах, не пригодных для других видов рыб, для дальнейшего использования в качестве потенциального ресурса в кормопроизводстве для аквакультуры.

Ключевые слова: *головешка-ротан, биологические особенности ротана, воспроизводство ротана, выращивание ротана, управление водными биоресурсами.*

Цитирование. Калайда М. Л., Хамитова М. Ф., Мингазов Н. Р. Биологические особенности головешки-ротана (*Perccottus glenii Dybowski*) в разных условиях в водоемах Республики Татарстан. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 359-369. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-40.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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 последнее время вопросы управления водными биоресурсами являются особо актуальными. Это связано как с ростом антропогенной нагрузки на водные экосистемы в связи с увеличением численности людей, так и с более глубоким осознанием значимости водных биоресурсов для сохранения популяционного здоровья. Изучение биологических особенностей водных объектов позволяет определить возможности их рационального использования как объектов потребления, так и сырьевых ресурсов в качестве кормовых компонентов. С этих позиций особую значимость имеют исследования водных биоресурсов крупнейшего в Европе Куйбышевского водохранилища. В связи с этим **целью** данного исследования явилось изучение особенностей биологии и экологии головешки-ротана (*Perccottus glenii Dybowski*, 1877) в водоемах Республики Татарстан.

Материалы и методы. В ходе работы был проведен анализ собственных исследований и литературных данных по распространению ротана и его биологическим характеристикам. В исследовании распространения ротана в Республике Татарстан использовались материалы проведенного анкетирования и прямого опроса рыбаков-любителей со сбором характеристик ротанов, пойманных рыбаками-любителями. Опрос и сбор материалов про-

водились на акваториях р. Казанки, р. Волги, в устье р. Свияги, р. Меше и р. Каме в Лаишевском и Алексеевском районах, на акваториях малых водоемов в г. Казани. Материалом послужили 196 ротанов, выловленных в 2024 и 2025 гг. в озере Малое Чуйково в г. Казани и 268 ротанов из уловов рыбаков-любителей в водоемах Республики Татарстан в 2024 г. (рисунок 1), а также 12 особей ротана, которые содержались, выращивались и воспроизводились в аквариумах в условиях лаборатории искусственного воспроизводства рыб и аквапоники кафедры водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «КГЭУ» (рисунок 2).



Рисунок 1 – Головешка-ротан в уловах рыбаков-любителей
Figure 1 – The Amur sleeper in the amateur anglers' catches

Отлов рыб в оз. Малое Чуйково проводился удочкой на пяти станциях с глубинами от 0,4 до 1,4 метра (рисунок 3). Озеро Малое Чуйково расположено в Ново-Савиновском районе города Казани, имеет площадь 0,56 га. Для данного озера характерно отсутствие проточности. Пополнение озера водой идет за счет весенних паводков и дождей. Дно водоема сильно заилено. Водоем сильно зарастает макрофитами (рисунок 3). Максимальная глубина водоема – 4 метра. Кроме ротана другие виды рыб в уловах рыбаков-любителей не отмечены.



самец самка

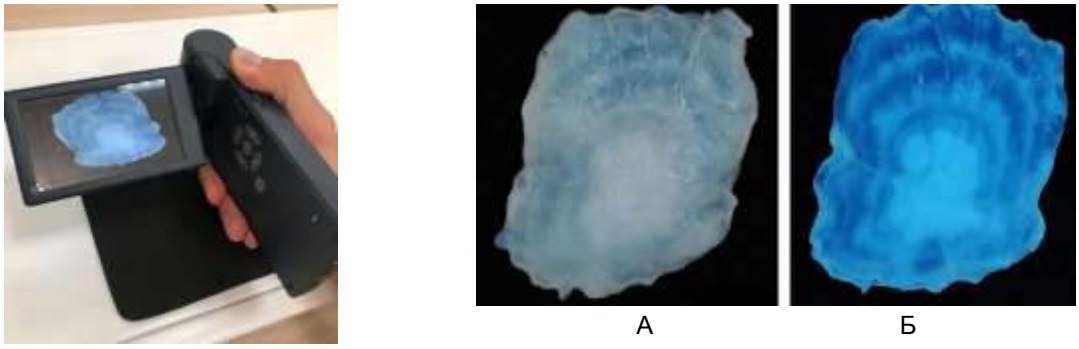
Рисунок 2 – Самец и самка головешки-ротана в аквариуме
Figure 2 – The male and female Amur sleeper in the aquarium



Рисунок 3 – Станции отлова ротана на оз. Малое Чуйково
Figure 3 – Amur sleeper catching stations on Maloye Chuikovo lake

Биологический анализ (абсолютная и промысловая длина, масса, пол, возраст, упитанность по Фультону) проводился по общепринятым методикам (Правдин,1966) [1]. Для морфометрического анализа проводились промеры длины и высоты тела каждой особи

штангенциркулем с точностью измерения ± 0,1 см. Каждую особь взвешивали на лабораторных весах EK 200i с точностью ± 0,01 г. Возраст определяли по отолитам, для этого использовался бинокулярный микроскоп Discovery Artisan 1024 (рисунок 4).



А Б

Рисунок 4 – Отолиты ротана: А – не шлифованный образец, Б – шлифованный образец
Figure 4 – Amur sleeper otoliths: A – unpolished sample, B – polished sample

Отолиты шлифовались для повышения четкости годовых приростов.

Результаты и обсуждение. Рациональное использование водных биоресурсов основано не только на стремлении увеличить объемы вылова и выращивания ценных водных биологических объектов, но и на задачах перспектив использования малоценных и сорных видов, которые могут быть использованы как сырьевые ресурсы в кормопроизводстве для ценных видов рыб. Проведенная оценка востребованности рыб в промысловом лове [2] выявила, что к маловостребованным промысловым видам рыб относятся густера, синец, уклейка, тюлька, плотва и язь. Эти виды рыб могли бы стать основой белкового компонента при производстве аквакормов в регионе. Однако необходимо отметить, что тюлька всегда относилась к избираемым компонентам в пище судака и берша (Калайда, 2003), выловы которых в последние годы увеличиваются. Кроме того, эти виды рыб вовлечены в трофические связи в экосистеме Куйбышевского водохранилища.

В связи с этим могут представлять интерес виды рыб, многочисленные и не вовлеченные в промысловый лов. Одним из таких видов является ротан.

Головешка-ротан (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) – представитель отряда Perciformes (Окунеобразные), семейства Odontobutidae (Головешковые). Широко распространенный в средней полосе России инвазивный вид, завезенный в начале XX в. из бассейна р. Амур в Европейскую Россию (Аннотированный каталог…, 1998). В дальнейшем он широко распространился в европейской части России в результате антропогенной деятельности и естественных процессов расселения. Исторически по данным «Аннотированного каталога…» (1998), головешка-ротан (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) был обычным представителем водоемов Дальнего Востока и бассейна реки Амур. Основным местообитанием ротана служат заросшие пойменные озера, пруды, а также болотистые речки. Вид крайне неприхотлив к условиям среды, выживает при низких показателях содержания кислорода в воде и низких температурах в период зимовки (Никольский, 1956).

Самая восточная точка распространения этого вида приходится на северо-западную часть острова Сахалин. На данной территории он был обнаружен в озерах и водоемах о. Сахалин (Аннотированный каталог…, 1998). Также часто встречается в Западной Сибири. В настоящее время ареал ротана на данной территории продолжает расширяться, особенно в период паводка (май-начало июня) благодаря общей заболоченности территорий (Яковлев,1925). Распространению ротана в Северной Евразии способствовали любители-аквариумисты. Ипполит Заливский в 1912 г. привез несколько ротанов из р. Зеи – притока р. Амур – и содержал их 4 года в аквариуме в п. Лисий Нос. В 1916 г. он выпустил их в садовый пруд. Тогда же, в 20-е годы прошлого столетия, ротаны были выпущены в водоемы г. Сестрорецка, из которых они попали в Финский залив Балтийского моря. Ротан быстро распространился в прибрежной зоне Финского залива и к началу 1950-х годов стал обычным видом в водоемах Ленинградской области. В Москве и Подмосковье ротан появился в 1948 году в обществе аквариумистов и был выпущен ими в ряд водоемов. С этого началось его распространение в этой области. На основе генетических исследований [3] предполагается, что ротан был завезен в Ленинградскую и Московскую области лишь единожды в каждом случае.

К 1970-м годам он встречался повсеместно по Подмосковью. В бассейн Средней Волги ротан попал во время акклиматизационных работ 1970-1971 гг., когда в результате случайного завоза вместе с амурским сазаном в 1970 г. он был вселен в пруды Илевского рыбхоза Нижегородской области (Кудерский, 1980). По информации Д. В. Залозных (1982), в Горьковской области, расположенной в бассейне Волги, ротан встречается довольно редко. Он обнаруживается в заливах реки Сарма и небольших водоемах, которые периодически соединяются с рекой. Это происходит, несмотря на то, что в реку регулярно поступает значительное количество молоди, выращенной в прудах Илевского рыбхоза. Также случаи нахождения ротана в старицах и пойменных озерах реки Оки возникают случайно, причем в этих водах обычными хищниками являются окунь и щука. Однако в изолированных от рек небольших водоемах с частым дефицитом кислорода и плотвично-карасевыми ихтиоценозами ротан может становиться доминирующим видом. И. В. Шляпкин, С. В. Тихонов (2001) изучили 17 водохранилищ Ярославской области, в которых встречается ротан [4]. Естественные рыбные сообщества в этих водоемах включали от 1 до 7 видов. В результате интродукции ротана в сообщества с малым количеством видов он стал доминирующим. В сообществах с большим числом видов, включающим хищников (щуку, окуня и другие), устойчивость к появлению ротана значительно выше (Кудерский,1980; Еловенко, 1980; Вечканов, 2000).

Таким образом, ротану понадобилось 25 лет, чтобы расселиться к концу XX столетия от Москвы до Волги, а по Волге он расселялся еще быстрее и за 11 лет добрался до акваторий Самары. По современным исследованиям головешка-ротан полностью освоил бассейн реки Волги (Аннотированный каталог…, 1998). В Куйбышевском водохранилище ротан встречался с 1981 года, где отмечался в уловах рыбаков-любителей в Мешинском и Свияжском заливах, Камском и Волжском плесах и устье р. Казанки (Шамов, 1983). В Чебоксарском водохранилище головешка-ротан впервые был пойман в 1982 г., в Саратовском – в 1983 г. [5]. Ротан активно осваивал Приволжье: Тульскую, Рязанскую, Калужскую, Владимирскую, Нижегородскую, Самарскую области, а также распространился в Республике Татарстан и Марийской Республике (Кудерский, 1980; Залозных, 1982; Еловенко, 1981; Залозных, 1984) [6]. Согласно промысловой статистике, вылов ротана в Средней Волге составил 1,6 тонны в 1988 году и 0,9 тонны в 1989 году (Кудерский, 1995).

В Республике Татарстан промысловый вылов ротана не ведется. Проведенное исследование показало, что в уловах рыбаков-любителей ротан встречается с частотой около 40 % (рисунок 5).

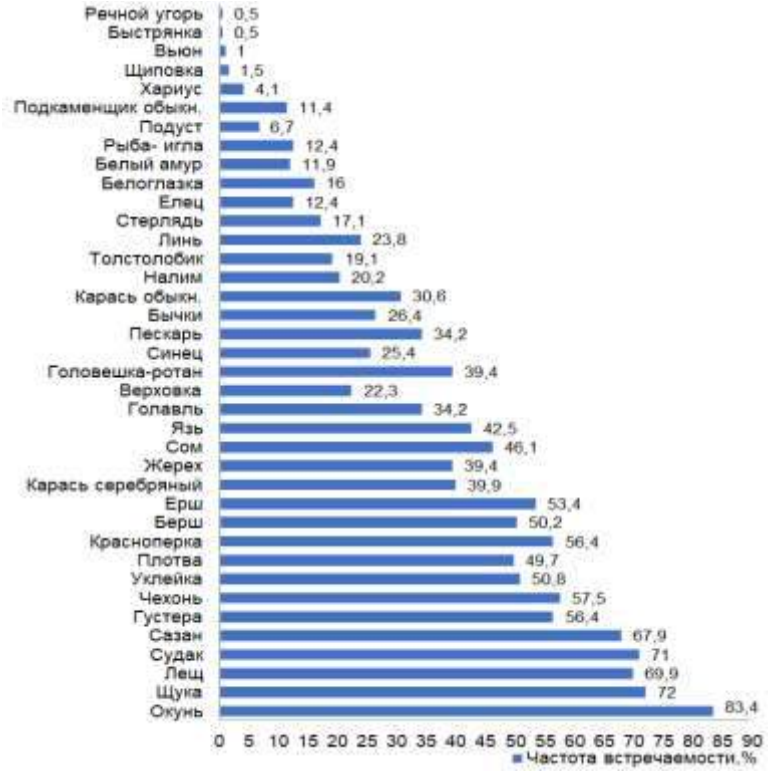


Рисунок 5 – Частота встречаемости рыб в уловах рыбаков-любителей в Республике Татарстан
Figure 5 – Frequency of the fish occurrence in the amateur anglers' catches in the Republic of Tatarstan

Основные места вылова рыбаками-любителями головешки-ротана в водоемах Республики Татарстан представлены на рисунке 6.

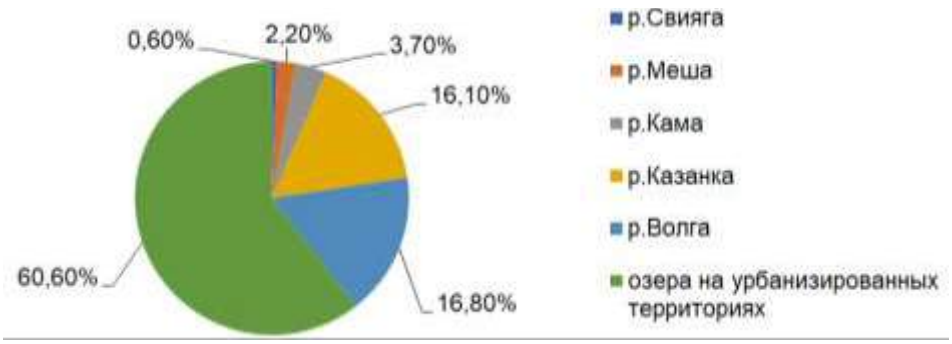


Рисунок 6 – Представленность головешки-ротана (%) в разных водоемах Республики Татарстан
Figure 6 – Percentage representation of the Amur sleeper (*perccottus glenii*) in various water bodies of the Tatarstan Republic

Как показало проведенное исследование уловов рыбаков-любителей, 60,6 % головешки-ротана выловлены в малых озерах на урбанизированных территориях (рисунок 5, 7).

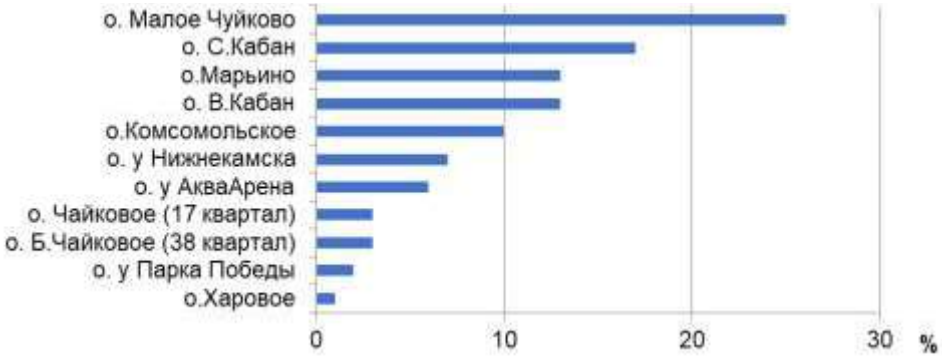


Рисунок 7 – Представленность головешки-ротана (%) в малых озерах
Figure 7 – Prevalence (%) of the Amur sleeper in the small lakes

Ротан отмечен в уловах рыбаков-любителей в малых водоемах г. Казани – оз. Харовое, оз. Марьино, в озере у парка Победы, оз. Б. Чайковое (38-й квартал), оз. Б. Чуйковое (17 квартал), в Дербышках в оз. Комсомольском. В этих водоемах ротан является доминирующим видом наравне с серебряным карасем и ловится рыбаками в значительных количествах – летом на 1 удочку до 60 экз. за рыбалку. Наиболее уловистыми по ротану являлись заросшие участки водоёмов с глубиной до 1 метра (рисунок 8). Во время лова головешки-ротана проводилась подготовка не менее двух участков водоема на расстоянии 2-3 метров для поочерёдной смены точки вылова. Это связано с особенностями его поведения: рыбы не пугаются резких действий рыбака при вылове, а наоборот, другие особи головешки-ротана собираются в месте, где был выловлен предшественник.

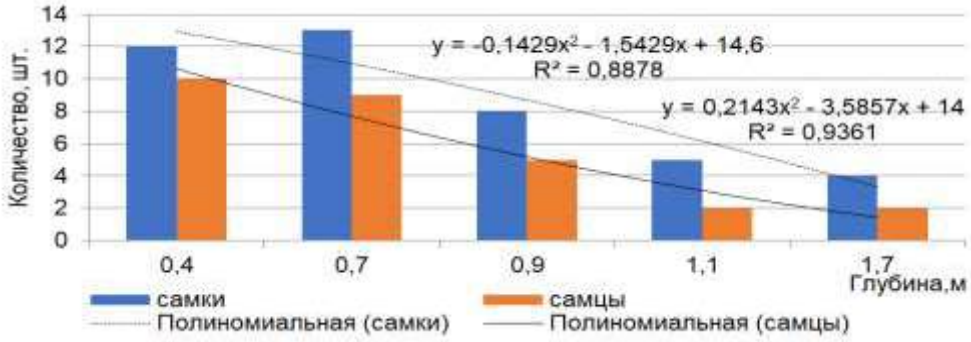


Рисунок 8 – Максимальная уловистость головешки-ротана за одну рыбалку в зависимости от глубины участка малого водоема
Figure 8 – Maximum catch rate of the Amur sleeper per fishing trip, depending on the depth of the section of a small water body

Концентрация ротана связана не только с глубиной участка водоема, но и с его зарастанием высшей водной растительностью (рисунок 9).

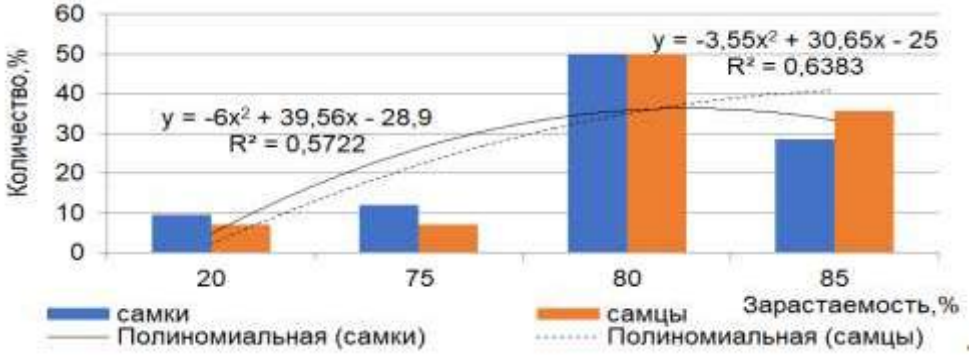


Рисунок 9 – Распределение головешки-ротана на участках водоема с разной степенью зарастаемости макрофитами
Figure 9 – Distribution of the Amur sleeper in sections of a water body with varying degrees of macrophyte overgrowth

Таким образом, ротан занял особую нишу – освоил не пригодные для большинства видов рыб из-за заморных условий малые водоемы. Следовательно, есть значительный резерв водных площадей, находящихся под сильным антропогенным прессом, которые могут использоваться для выращивания короткоциклового объекта для хозяйственных нужд. Результаты исследований позволяют считать ротана выносливой рыбой с очень широкими адаптационными способностями, способствующими его расселению в малых водоемах. В то же время, как показало проведенное исследование, в более чистых реках (Свияга, Меша, Кама) ротан представлен в меньшей степени (рисунок 5).

Анализ морфометрических характеристик ротана показал, что основу популяции составляют особи от 12 до 16 см (рисунок 9). Максимальный зафиксированный размер ротана составил – 25,5 см. Максимальная длина тела ротана в различных водоемах его естественного ареала по данным авторов (Берг, 1949, «Рыбы бассейна Амура…», 1956; Солдатов, 1930; Кирпичников, 1945) варьирует от 14 до 25 см.

Из литературы известно, что масса ротана варьирует от 4 г в возрасте двух лет до 11,6 г в три года и 53,5 г в 7 лет при длине тела 13,6 см (Яковлев, 1925). Другими авторами [7, 8, 9] приводится информация о массе ротана в возрасте 10 лет длиной 25 см и массой 250 г, или 6 лет (самки) длиной 18,54 ± 1,63 см и массой 205,58 ± 52,75 г. Также есть данные по ротанам 7 лет длиной 19,1 см и массой 187,04 г [9]. Сообщается, что в оз. Тростное (пойма р. Суры) пойман экземпляр массой 350 г в возрасте 8 лет (Вечканов, 2000). В большинстве водоёмов возраст ротана, определённый по отолитам, не превышает 7 лет (Litvinov, 1996) [11, 12].

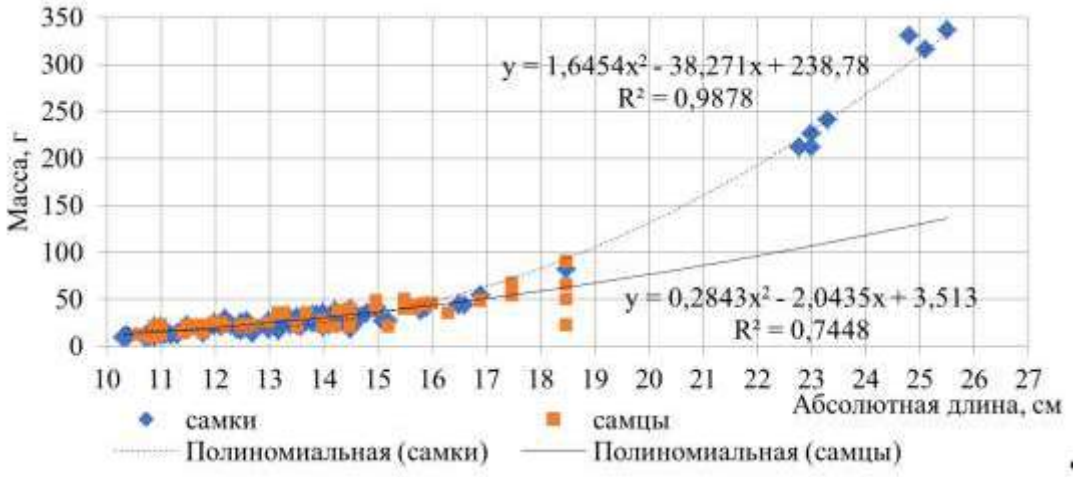


Рисунок 10 – Зависимость массы тела от длины у головешки-ротана из оз. Малое Чуйково в г. Казани
Figure 10 – Dependence of body mass on length in the Amur sleeper (*Perccottus glenii*) from lake Maloye Chuikovo, Kazan

В водоемах Республики Татарстан в уловах рыбаков-любителей ротан встречался длиной от 10 до 25,5 см и массой от 13 до 336 г (рисунок 10). Максимальная масса у ротана-самца – 91 г (7 лет, длина – 18,5 см), а у самки – 336 г (9 лет, длина – 25,5 см). Как видно из данных, приведенных на рисунке 7, самки и самцы имеют примерно одинаковые параметры массы при тех же линейных размерах до длины 17 см и массы 50 г. Коэффициент упитанности по Фультону варьировал от 1,33 до 1,91, в среднем составив 1,62 ± 0,16.

Таким образом, ротаны из оз. Малое Чуйково характеризуются высокой скоростью роста и соответствуют максимальным размерно-весовым характеристикам ротана из других мест его ареала.

В половой структуре популяции ротана в оз. Малое Чуйково г. Казани преобладали самки (60 %) над самцами (40 %) (рисунок 11).



самка самец

Рисунок 11 – Гонады самки и самца у головешки-ротана в мае 2024 г.
Figure 11 – Female and male gonads of the Amur sleeper in May 2024

Из литературы известно, что в популяциях ротана встречаются особи до возраста 9+ (Кудерский, 1980, 1982; Аннотированный каталог…, 1998; Решетников, 2001) [13]. Анализ собранных материалов выявил в уловах рыбаков-любителей 8 возрастных групп ротанов – от 2 до 9 лет по размерно-весовым характеристикам (рисунок 8). При этом старшие возрастные группы были представлены малым количеством особей (рисунок 12).

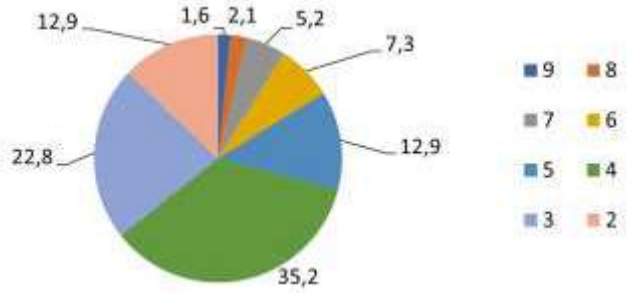


Рисунок 12 – Возрастная структура (%) головешки-ротана в уловах рыбаков-любителей в оз. Малое Чуйково в мае 2024 г.
Figure 12 – Age structure (%) of the Amur sleeper in amateur anglers' catches at lake Maloye Chuikovo, May 2024

Для уточнения возрастной структуры популяции ротана, основанной на размерно-весовой характеристике, дополнительно возраст рыб определялся по отолитам (рисунок 13).



3-х годовик 4-х годовик 5-ти годовик

Рисунок 13 – Отолиты ротана в мае 2025 г.
Figure 13 – Amur sleeper otoliths in May 2025

Анализ возрастной структуры ротанов по отолитам соответствовал возрастной структуре, выявленной по его размерно-весовым характеристикам (таблица 1).

Таблица 1 – Размерно-весовые характеристики ротана разного возраста в мае 2025 г.
Table 1 – Morphometric and weight characteristics of the Amur sleeper of various ages in May 2025

Возраст, годы / Age, years	Абсолютная длина, см / Absolute length, cm	Масса, г / Weight, g
2	10,52 ± 0,51	12,49 ± 3,24
3	12,21 ± 0,82	17,98 ± 3,67
4	14,16 ± 0,86	24,29 ± 3,06
5	16,08 ± 0,79	33,96 ± 3,78
6	17,48 ± 0,54	43,77 ± 3,11
7	18,61 ± 0,48	65,80 ± 12,4
8	23,20 ± 0,28	222,25 ± 13,32
9	25,18 ± 0,36	327,00 ± 10,82

В работе [14] отмечалось, что в уловах закидной сетью ротан ловился 4 возрастных групп – от 3 до 6 лет. Авторы отмечают, что максимальный встречающийся возраст ротанов составил 6 лет при длине до конца чешуйного покрова 18,54 ± 1,63. В наших материалах шестилетки имели промысловую длину – 13,3 ± 0,1 при абсолютной длине тела – 17,48 ± 0,54.

В ранее проведенных гистологических исследованиях гонад ротана в естественном и приобретенном ареале (Курдяева, 1976, Травкина, 1997) была показана высокая асинхронность развития ооцитов и спермиев, что, по мнению авторов, позволяет осуществлять порционный нерест и обеспечивать широкий диапазон чисел откладываемых порций.

В экспериментах по размножению ротана в аквариумных условиях (рисунок 13) было четко зафиксировано порционное икрометание. При температуре воды во второй декаде мая 16 °С все пойманные самки были с икрой, то есть на втором году жизни ротаны являются половозрелыми в условиях Среднего Поволжья. Минимальная длина половозрелой самки – 10,3 см при массе – 10 г.

В условиях лаборатории самки откладывали по две порции икры с периодичностью от 2 до 11 дней при температуре воды 17 °С в марте. Порции икры были примерно одинаковы. Кладки осуществлялись на разные поверхности: дно аквариума, крупные камни или предметы. Форма кладок соответствовала поверхности. Икринки крепко прикреплялись к субстрату. Самцы ухаживали за кладкой икры (рисунок 14). При температуре воды 21 °С развитие икры протекало до 7-10 суток. Ранняя молодь питалась мелким планктоном. В аквариумных условиях молодь ротана хорошо потребляет организмы перифитона биофильтра установки замкнутого цикла.



Рисунок 14 – Кладки икры ротана в аквариумных условиях в мае 2025 г.
Figure 14 – Amur sleeper egg clutches under aquarium conditions in May 2025

По литературным данным, нерест ротана в бассейне Амура происходит в возрасте 2+…3+ при длине тела 6 см (Аннотированный каталог…, 1998). Отмечалось, что в аквариальных условиях ротан может созревать раньше, на втором году жизни (Махлин, 1983) при тех же размерах. В европейской части приобретенного ареала основная масса ротана созревает при длине тела 4,5-7,0 см в возрасте 2+, но встречаются особи, достигшие половой зрелости на втором году (1+) (Спановская и др., 1964).

Заключение. Таким образом, исследование биологических и хозяйственных особенностей головешки-ротана в условиях разных водоемов Среднего Поволжья позволяет сделать вывод, что он является не только чужеродным короткоцикловым видом, но и перспективным объектом аквакультуры для создания локальных популяций и использования в водоемах, не пригодных для других видов рыб, в качестве потенциального ресурса в кормопроизводстве для аквакультуры.

Conclusions. Thus, the investigation into the biological and economic characteristics of the Amur sleeper (*Perccottus glenii*) across various water bodies in the Middle Volga region leads to the conclusion that it is not only an alien species with a short life cycle but also a promising candidate for aquaculture – specifically for establishing localized populations in water bodies unsuitable for other fish species, and for serving as a potential resource in the production of feed for the aquaculture industry.

Библиографический список

1. Магомаев Ф. М. Словарь и нормативы по аквакультуре. Махачкала: ИД «Эпоха», 2013. 312 с.
2. Калайда М. Л., Шарафутдинов Р. Г., Удачин С. А., Калайда А. А., Перспективы использования водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища в кормах для ценных видов рыб. Будущее аквакультуры. Прогрессивные биотехнологии: материалы международной научно практической конференции. Саратов, 2024. С. 28-35.
3. Касьянов А. Н., Горошкова Т. В. Изучение морфологических признаков у ротана Perccottus glenii (Perciformes, Eleotrididae), интродуцированного в водоемы европейской части России. Сибирский экологический журнал. 2012. Т. 19. № 1. С. 81-96.
4. Голованов В. К., Капшай Д. С., Герасимов Ю. В., Голованова И. Л., Карабанов Д. П., Смирнов А. К., Шляпкин И. В. Термоизбирание и термоустойчивость молоди ротана-головешки Perccottus glenii в осенний сезон. Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53. № 2. С. 246.
5. Sokolov S. G., Vlasenko P. G., Urabe M. et al. Hidden diversity of cestode Nippotaenia in a widely distributed invasive fish Perccottus glenii. Hydrobiologia. 2025. V. 852. Pp. 1903-1920.
6. Кириленко Е. В., Шемонаев Е. В., Попов А. И. Питание ротана Perccottus glenii (Perciformes: Odontobutidae) в пойменных водоемах Саратовского водохранилища. Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19 (5). С. 157-162.
7. Лесковская Л. С., Михайлова Л. В. Динамика роста, выживаемость и половое созревание ротана Perccottus glenii Dybowski, 1877 в аквариумах с нефтезагрязенным грунтом. Вестник рыбохозяйственной науки. 2017. Т. 4. № 3 (15). С. 37-43.
8. Семенов Д. Ю. Данные о морфологии и биологии головешки-ротана Perccottus glenii Dybowski, 1877 (Perciformes, Eleotrididae) Куйбышевского водохранилища. Юг России: экология, развитие. 2010. № 3. С. 88-93.
9. Быков А. Д. Биология ротана-головешки Perccottus glehnidybowski, 1877 в пойменных озерах реки Оки. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. Т. 16. № 2 (193). С. 92-107.
10. Лесковская Л. С., Михайлова Л. В., Гусева Е. Н. Биологическая характеристика популяции ротана Perccottus glenii, (Dybowski, 1877), оз. Яровское. Актуальные вопросы развития аграрной науки: материалы конференции. 2021. С. 795-805.
11. Сусляев В. В., Решетникова С. Н., Интересова Е. А. Биология ротана Perccottus glenii Dybowski, 1877 в водоемах южно-таежной зоны Западной Сибири. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2016. С. 78-85.
12. Жигилева О. Н., Куликова А. А. Особенности биологии и генетическая изменчивость ро-тана Perccottus glenii (Odontobutidae) в водоёмах Тюменской области. Вопросы ихтиологии. 2016. Т. 56. № 1. С. 77-85.
13. Reshetnikov A. N., Golubtsov A. S., Zhuravlev V. B., Lomakin S. L., Rezvyi A. S. Range expansion of rotan Perccottus glenii, sunbleak Leucaspius delineatus, and bleak Alburnus alburnus in the ob river basin. Contemporary Problems of Ecology. 2017. V. 10. № 6. Pp. 612-620.
14. Лесковская Л. С., Фомина А. А., Янкова Н. В. Морфо-физиологическая характеристика ротана Perccottus glenii, Dybowski, 1877 озера Андреевское Тюменской области. Сельскохозяйственные науки. 2017. № 2 (37). С. 71-77.

References

1. Magomaev F. M. Dictionary and Standards for Aquaculture. Makhachkala: Epokha Publishing House, 2013. 312 p.
2. Kalaida M. L., Sharafutdinov R. G., Udachin S. A., Kalaida A. A. Prospects for Utilizing Aquatic Bioresources of the Kuybyshev Reservoir in Feeds for Valuable Fish Species. The Future of Aquaculture: Progressive Biotechnologies. Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. Saratov, 2024. Pp. 28-35.
3. Kasyanov A. N., Goroshkova T. V. Study of morphological characteristics in the Amur Sleeper Perccottus glenii (Perciformes, Eleotrididae), introduced into water bodies in the European part of Russia. Siberian Ecological Journal. 2012. V. 19. № 1. Pp. 81-96.
4. Golovanov V. K., Kapshay D. S., Gerasimov Yu. V., Golovanova I. L., Karabanov D. P., Smirnov A. K., Shlyapkin I. V. Thermal selection and thermal tolerance of juvenile Amur Sleeper Perccottus glenii during the autumn season. Issues of Ichthyology. 2013. V. 53. № 2. P. 246.
5. Sokolov S. G., Vlasenko P. G., Urabe M. et al. Hidden diversity of cestode Nippotaenia in a widely distributed invasive fish Perccottus glenii. Hydrobiologia. 2025. V. 852. Pp. 1903-1920.
6. Kirilenko E. V., Shemonaev E. V., Popov A. I. Feeding of the Amur sleeper Perccottus glenii (Perciformes: Odontobutidae) in the floodplain water bodies of the Saratov Reservoir. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. V. 19 (5). Pp. 157-162.
7. Leskovskaya L. S., Mikhailova L. V. Growth dynamics, survival, and sexual maturation of the Amur Sleeper Perccottus glenii Dybowski, 1877 in aquaria with oil-contaminated substrate. Bulletin of Fisheries Science. 2017. V. 4. № 3 (15). Pp. 37-43.

8. Semenov D. Yu. Data on the morphology and biology of the Amur sleeper Perccottus glenii Dybowski, 1877 (Perciformes, Eleotrididae) in the Kuybyshev reservoir. South of Russia: Ecology, Development. 2010. No 3. Pp. 88-93.
9. Bykov A. D. Biology of the Amur Sleeper Perccottus glehni Dybowski, 1877 in the Floodplain Lakes of the Oka River. Aquaculture and Fisheries. 2022. V. 16. № 2 (193). Pp. 92-107.
10. Leskovskaya L. S., Mikhailova L. V., Guseva E. N. Biological characteristics of the Perccottus glenii (Dybowski, 1877) population in lake Yarovskoye. Proceedings of the all-russian (national) scientific-practical conference: Current Issues in the Development of Agrarian Science. 2021. Pp. 795-805.
11. Suslyaev V. V., Reshetnikova S. N., Interesova E. A. Biology of the Amur sleeper Perccottus glenii Dybowski, 1877 in water bodies of the southern taiga zone of Western Siberia. News of the NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2016. Pp. 78-85.
12. Zhigileva O. N., Kulikova A. A. Biological characteristics and genetic variability of the Amur Sleeper Perccottus glenii (Odontobutidae) in water bodies of the Tyumen region. Issues of Ichthyology. 2016. V. 56. № 1. Pp. 77-85.
13. Reshetnikov A. N., Golubtsov A. S., Zhuravlev V. B., Lomakin S. L., Rezvyi A. S. Range expansion of rotan Perccottus glenii, sunbleak Leucaspius delineatus, and bleak Alburnus alburnus in the ob river basin. Contemporary Problems of Ecology. 2017. V. 10. № 6. Pp. 612-620.
14. Leskovskaya L. S., Fomina A. A., Yankova N. V. Morphological and physiological characteristics of the Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) from lake Andreevskoye, Tyumen region. Agricultural Sciences. 2017. No 2 (37). Pp. 71-77.

Информация об авторах

Калайда Марина Львовна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Российская Федерация, 420066 г. Казань ул. Красносельская, 51), ORCID: 0000-0002-8703-3002, e-mail: kalayda4@mail.ru

Хамитова Мадина Фархадовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Российская Федерация, 420066 г. Казань ул. Красносельская, 51), ORCID: 0000-0002-7327-6265, e-mail: it-sk@bk.ru

Мингазов Нияз Рамилевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Российская Федерация, 420066 г. Казань ул. Красносельская, 51), ORCID: 0009-0000-5784-1810, e-mail: niyaz-kazan01@mail.ru

Authors' Information

Kalaida Marina Lvovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Kazan State Power Engineering University (Russian Federation, 420066, Kazan, Krasnoselskaya Str., 51), ORCID: 0000-0002-8703-3002, e-mail: kalayda4@mail.ru

Khamitova Madina Farhadovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kazan State Power Engineering University (Russian Federation, 420066, Kazan, Krasnoselskaya Str., 51), ORCID: 0000-0002-7327-6265, e-mail: it-sk@bk.ru

Mingazov Niyaz Ramilevich, graduate student, Kazan State Power Engineering University (Russian Federation, 420066, Kazan, Krasnoselskaya Str., 51), ORCID: 0009-0000-5784-1810, e-mail: niyaz-kazan01@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-41

THE GENETIC AND PARATYPIC FACTORS INFLUENCE ON THE RED-AND-WHITE COWS PHENOTYPIC VARIABILITY OF THE ECONOMICALLY USEFUL TRAITS

Kozankov A. G., Ryzhova N. G., Terentyeva N. A., Netesov A. A.

All-Russian Research Institute of Breeding
Lesnye Polyany, Moscow region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: akozankov62@mail.ru

Received 27.03.2026 Submitted 06.07.2026

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Agriculture of Russia for the All-Russian Research Institute of Breeding, topic No. 2.1.2. "Conducting scientific research on the assessment of predicted breeding value and optimization of selection of replacement bulls of the Red-and-White breed based on the transmitting ability of ancestors for the further formation of new related groups and lines."

Summary

The scientific article describes the indicators of economically useful traits (milk yield for 305 days of lactation, percentage of fat and protein in milk, milk fat yield, lifetime productivity, productive longevity, calving interval length) in Red-and-White cows from breeding farms of the Russian Federation. The influence of genetic and paratypic factors on the studied traits was determined, and heritability and correlation coefficients were calculated. A significant decrease in lifetime milk yield and productive longevity was revealed in cows with a high Holstein blood proportion.

Abstract

Introduction. The main aim of the breeding is the selection and rearing of the best animals with high parameters of economically useful traits (milk productivity, fertility, longevity, disease resistance, adaptation to industrial milk production technology) for the stable increase of the genetic potential of breeding animals. This is impossible without studying the influence of genetic and paratypic factors on these traits, determining correlative relationships between selected traits, and determining their heritability coefficients. It is espe-

cially important to study domestic dairy cattle breeds that can compete with foreign breeds in terms of milk yield and productive longevity. **Object.** The object of the research was live (4322 heads) and culled (16120 heads) Red-and-White cows from breeding farms of the Russian Federation. **Material and methods.** An analysis of the database of economically useful traits of Red-and-White cows in breeding farms of the Russian Federation was conducted based on information obtained from the "SELEX. Dairy Cattle" system to calculate the main breeding and genetic parameters of traits (heritability (h^2), correlation (r)) of traits (milk yield for 305 days of lactation, fat and protein yield per lactation in kg, age in lactations, calving interval length in days). **Results and conclusions.** Analysis of the economically useful traits of culled cows depending on the Holstein blood proportion showed that with an increase in blood proportion, the average milk yield per 305 days of lactation significantly increases by an average of 4.0 %, as well as the percentage of fat (+0.08 %) and protein (+0.05 %) in milk. At the same time, the lifetime productivity of high-blooded cows (Holstein blood proportion over 94 %) is significantly 9.0-17.7 % lower than that of cows with a lower Holstein blood proportion. The optimal value of Holstein blood proportion, at which the greatest amount of product can be obtained, is up to 75 %. This is primarily due to a significant decrease in the productive longevity of high-blooded cows to 2.3 lactations, which is one lactation less than in cows with blood proportion up to 75 %. In the studied population, a weak negative correlation is observed between milk yield and fat percentage in milk (rp = -0.019; rg = -0.255), which can lead to a decrease in milk fat when selecting for increased milk productivity. For milk protein content in cows, a moderate positive genetic correlation (rg = +0.478) is observed, so selection for milk productivity will indirectly contribute to an increase in the percentage of protein in milk. Calculation of heritability coefficients for the studied traits showed that for all indicators, the share of genetic influence on the phenotypic expression of the trait was insignificant (maximum up to 20 %), i.e., the studied traits are significantly influenced not by the genotype, but by paratypic environmental factors.

Keywords: *Red-and-White cattle breed, economically useful cattle traits, bloodline of the Holstein breed, traits heritability coefficient, cattle breeding.*

Citation. Kozankov A. G., Ryzhova N. G., Terentyeva N. A., Netesov A. A. The genetic and paratypic factors influence on the Red-and-White cows phenotypic variability of the economically useful traits**.** *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 369-380 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-41.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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+636.2.034

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ И ПАРАТИПИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФЕНОТИПИЧЕСКУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫХ ПРИЗНАКОВ КОРОВ КРАСНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ

Козанков А. Г., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Рыжова Н. Г., *кандидат биологических наук, доцент*
Терентьева Н. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*
Нетесов А. А., *научный сотрудник*

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела»
п. Лесные Поляны, г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания МСХ России для Всероссийского научно-исследовательского института племенного дела, тема № 2.1.2. «Проведение научных исследований по оценке прогнозируемой племенной ценности и оптимизации отбора ремонтных бычков красно-пестрой породы на основе передающей способности предков для дальнейшего формирования новых родственных групп и линий».

Актуальность. Основная цель селекции состоит в отборе и разведении лучших животных с высокими параметрами хозяйственно полезных признаков (молочная продуктивность, фертильность, долголетие, устойчивость к заболеваниям, адаптация к промышленной технологии получения молока) для стабильного повышения генетического потенциала племенных животных. Это невозможно без изучения влияния на эти признаки генетических и паратипических факторов, определения корелятивных связей между селекционируемыми признаками и определения коэффициентов их наследуемости. Особенно важно исследовать отечественные породы молочного скота, которые могут конкурировать с зарубежными породами по выходу молочной продукции и продуктивному долголетию. **Объект.** Объектом исследований являлись живые (4322 головы) и выбывшие (16120 голов) коровы красно-пестрой породы племенных хозяйств РФ. **Материал и методы.** Проведен анализ базы данных хозяйственно полезных признаков коров красно-пестрой породы в племенных хозяйствах

РФ на основе информации, полученной из системы «СЕЛЭКС. Молочный скот», для расчета основных селекционно-генетических параметров (наследуемость (h^2), корреляция (r)) (удой за 305 дней лактации, выход жира и белка за лактацию в кг, возраст в лактациях, продолжительность межотельного периода в днях). **Результаты и выводы.** Анализ показателей хозяйственно полезных признаков выбывших коров в зависимости от кровности по голштинской породе показал, что с увеличением кровности достоверно возрастает средний удой за 305 дней лактации в среднем на 4,0 %, а также процентное содержание жира (+ 0,08 %) и белка (+ 0,05 %) в молоке. При этом пожизненная продуктивность высококровных коров (кровность по голштинской породе более 94 %) достоверно на 9,0-17,7 % меньше, чем у коров с меньшей кровностью по голштинской породе. Оптимальное значение кровности по голштинской породе, при котором можно получить наибольшее количество продукции – до 75 %. В первую очередь это обусловлено существенным снижением продуктивного долголетия высококровных коров до 2,3 лактации, что на 1 лактацию меньше, чем у коров с кровностью до 75 %. В исследованной популяции наблюдается слабая отрицательная корреляция между удоем и процентным содержанием жира в молоке ($r_д$ = -0,019; $r_а$ = -0,255), что может приводить к снижению жира в молоке при селекции на увеличение молочной продуктивности. По содержанию белка в молоке у коров наблюдается умеренная положительная генетическая корреляция ($r_а$ = + 0,478), поэтому отбор по молочной продуктивности будет опосредованно способствовать увеличению процентного содержания белка в молоке. Расчет коэффициентов наследуемости изучаемых признаков показал, что для всех показателей доля генетического влияния на фенотипическое проявление признака была незначительной (максимум до 20 %), т. е. существенное влияние на изучаемые признаки оказывает не генотип, а паратипические факторы окружающей среды.

Ключевые слова: *красно-пестрая порода, хозяйственно полезные признаки скота, кровность по голштинской породе, коэффициент наследуемости признаков, селекция КРС.*

Цитирование. Козанков А. Г., Рыжова Н. Г., Терентьева Н. А., Нетесов А. А. Влияние генетических и паратипических факторов на фенотипическую изменчивость показателей хозяйственно полезных признаков коров красно-пестрой породы. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 369-380. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-41.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Молочная продуктивность коров определяется комплексом наследственных и ненаследственных факторов. К числу основных из них относятся: порода, физиологическое состояние (живая масса и упитанность, возраст, период стельности и лактации, продолжительность сервис-периода и сухостойного периода, состояние здоровья и др.), факторы внешней среды (кормление, условия содержания, сезон года).

Среди пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности выделяется отечественная красно-пестрая порода, созданная на основе маточного поголовья симментальской породы и генетического материала голштинской породы красно-пестрой масти, получившая широкое распространение на территории Российской Федерации благодаря высоким продуктивным и адаптационным качествам [1-6]. Красно-пеструю породу скота разводят в 17 регионах четырех Федеральных округов Российской Федерации (Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах РФ, 2025).

Селекционная работа в стадах красно-пестрой породы ведется в соответствии с Программой селекции красно-пестрой породы молочного скота на период 2021-2030 гг. (п. Лесные Поляны, 2021), которой предусматривается изучение фенотипической изменчивости показателей хозяйственно полезных признаков животных в подконтрольных стадах, чтобы выявить наиболее устойчивые к изменениям параметры и своевременно скорректировать направления селекционной работы.

Проведенный анализ фенотипической изменчивости показателей хозяйственно полезных признаков выбывших коров выполнен с целью изучения особенностей формирования данных признаков под влиянием генетических и средовых факторов, которые позволяют выявить, какова относительная роль генотипа и среды в формировании фенотипического разнообразия в стадах красно-пестрой породы, определить, какие факторы в целом влияют на изменчивость признаков, а также проанализировать хозяйственно полезные признаки живых коров, чтобы выявить наиболее устойчивые к изменениям параметры и скорректировать направления селекционной работы.

Материалы и методы. Исследования проведены на базе племенных хозяйств Воронежской области по разведению отечественной красно-пестрой породы скота молочного направления продуктивности.

Общая выборка животных составила 33 830 голов выбывших и 12 014 голов живых коров. Из выборки были исключены коровы без данных по происхождению и продуктивности за одну из лактаций, с показателями, выбивающимися из доверительного интервала M ± 3σ, а также рожденные ранее 2000 года. Общее количество выбывших животных, на которых проводили расчеты селекционно-генетических параметров для основных хозяйственно полезных признаков, составило 16 120 голов, живых – 4 322 головы. Все данные прошли процедуру нормализации и были приближены к нормальному распределению. Статистическую обработку данных проводили с помощью процедуры обобщенных линейных моделей. Для оценки компонентов фенотипической изменчивости признаков был использован многофакторный дисперсионный анализ. Для оценки силы и достоверности влияния факторов на оцениваемые признаки использовали статистическую модель смешанного типа. Эффективность биометрических моделей оценивали с помощью коэффициента детерминации (R^2). Вклад отдельного фактора в общую фенотипическую изменчивость признака определяли показателем силы влияния (η^2).

Исследования проводились на основе методов описательной статистики по признакам: средний удой за 305 дней лактации и количество полученного молока за лактацию (за первые семь лактаций и в среднем за все лактации) в пересчете на базисную жирность, выход молочной продукции, продолжительность межотельного периода, количество лактаций, уровень кровности коров по голштинской породе.

Результаты и их обсуждение. Динамика молочной продуктивности и качества молока выбывших коров красно-пестрой породы в разрезе лактаций представлена на рисунке 1. Как видно по исследуемой выборке надой за 305 дней лактации у полновозрастных коров увеличивается на 10 % от первой к третьей лактации, а к седьмой лактации снижается на эту же величину. Схожую картину в своих исследованиях наблюдали [7, 8]. Динамика процентного содержания жира в молоке коров увеличивается до шестой лактации, тогда как содержание белка в молоке практически не меняется в течение их продуктивного использования (рисунок 1).

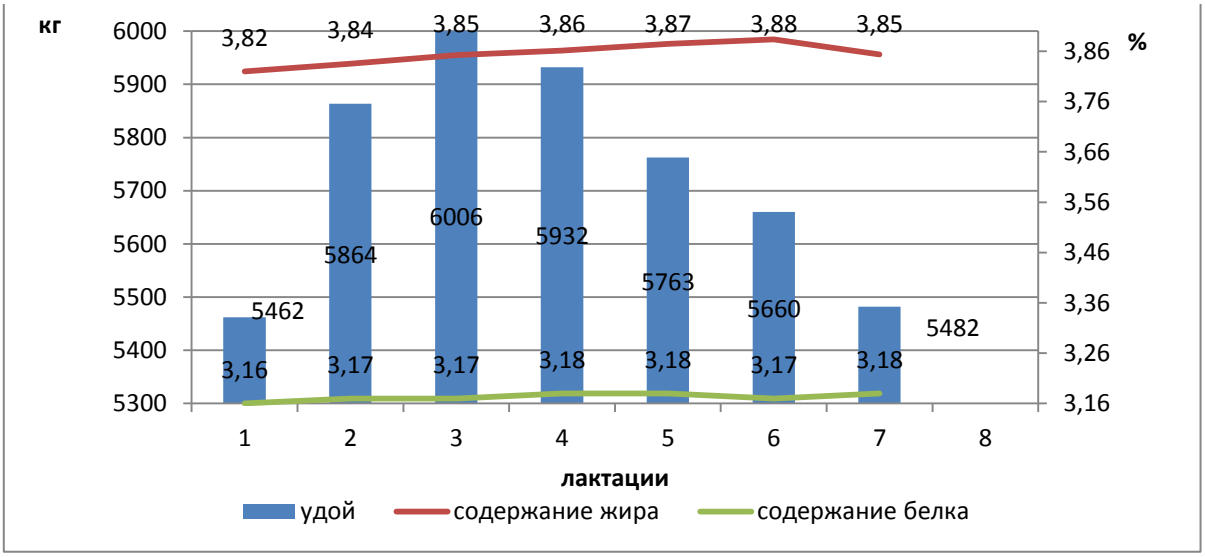


Рисунок 1 – Динамика молочной продуктивности и качества молока выбывших коров красно-пестрой породы в разрезе лактаций
Figure 1 – Dynamics of milk productivity and milk quality of culled Red-and-White cows by lactation

Соответственно, выход молочной продукции в виде молочного жира и белка достоверно увеличивается на 2,7-8,2 % ($P \leq 0,001$) до третьей лактации, затем достоверно снижается к седьмой лактации на 8,9 % ($P \leq 0,001$). Необходимо отметить, что более низкокровные по голштинской породе коровы обладают большим продуктивным долголетием: если у первотелок кровность по голштинской породе составляла в среднем 73 %, то коровы с кровностью по голштинской породе в среднем 68 % продуктивно использовались до

седьмой лактации, и эта разница в кровности коров между смежными лактациями была статистически достоверна (P ≤ 0,05…P ≤ 0,001). Анализ показателей хозяйственно полезных признаков выбывших коров в зависимости от кровности по голштинской породе показал, что с увеличением кровности достоверно возрастает средний удой за 305 дней лактации в среднем на 4,0 %, а также процентное содержание жира (+ 0,08 %) и белка (+ 0,05 %) в молоке. Соответственно, от коров с кровностью более 94 % в среднем получили за 305 дней лактации самое большое количество молочного жира и белка (рисунок 2).

При этом анализ пожизненной продуктивности выбывших животных показал, что от высококровных коров получено наименьшее количество продукции – достоверно на 9,0-17,7 % меньше, чем от коров с меньшей кровностью по голштинской породе. Оптимальное значение кровности по голштинской породе, при которой можно получить наибольшее количество продукции – до 75 % (рисунок 3).

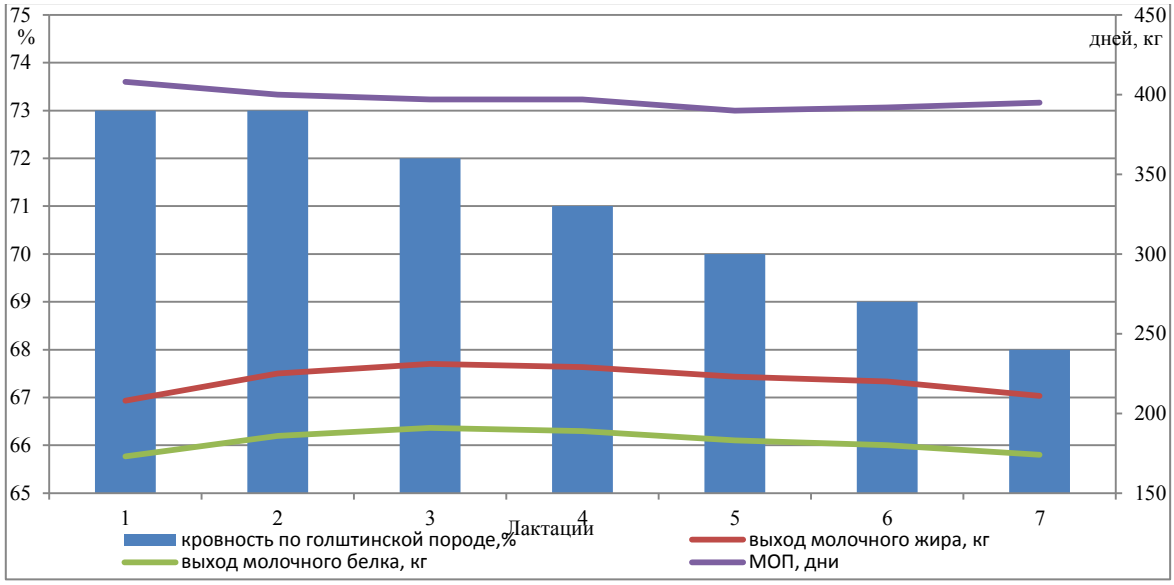


Рисунок 2 – Динамика выхода молочной продукции за 305 дней лактации, продолжительности МОП и кровности по голштинской породе выбывших коров красно-пестрой породы в разрезе лактаций
Figure 2 – Dynamics of milk yield per 305 days of lactation, calving interval length, and Holstein blood proportion of culled Red-and-White cows by lactation

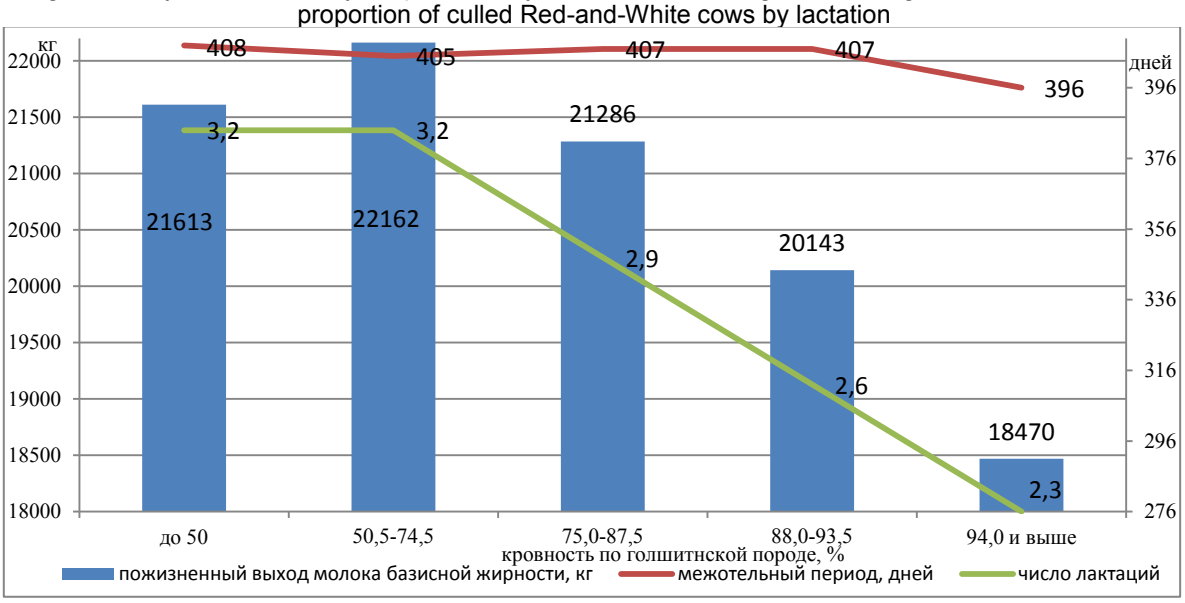


Рисунок 3 – Влияние кровности по голштинской породе на показатели хозяйственно полезных признаков выбывших коров красно-пестрой породы
Figure 3 – Influence of Holstein blood proportion on indicators of economically useful traits of culled Red-and-White cows

В первую очередь это обусловлено существенным снижением продуктивного долголетия высококровных коров – с увеличением кровности по голштинской породе выше 75 % продолжительность продуктивной жизни коров достоверно снижается в геометрической прогрессии и у высококровных коров она почти на целую лактацию меньше. Низкие показатели продуктивного долголетия и пожизненного выхода продукции у высококровных по голштинской породе коров подтверждены в ряде исследований [9-12].

В общем фенотипическом разнообразии признаков проведена оценка доли генотипической изменчивости. Наследственная обусловленность генотипической изменчивости признака определяется величиной коэффициента наследуемости. Высокие и средние значения коэффициента наследуемости (например, $h^2 = 0,4$) указывают на возможность применения в стаде в качестве основного метода селекции отбора по собственной продуктивности, низкие значения коэффициента наследуемости ($h^2 = 0,2$) – на необходимость усиления внимания к отбору по качеству потомства. При интерпретации коэффициента наследуемости также важно понимать, что оценки применяются к популяциям, а не к индивидам.

Расчет коэффициентов наследуемости изучаемых признаков методом двухфакторного дисперсионного анализа показал, что для всех показателей доля генетического влияния на фенотипическое проявление признака была минимальна (таблица 1), т. е. существенное влияние на изучаемые признаки оказывает не генотип, а паратипические факторы окружающей среды.

Таблица 1 – Значения коэффициентов наследуемости изучаемых признаков коров красно-пестрой породы
Table 1 – Values of heritability coefficients of the studied traits Red-and-White cows

Признак / Sign	Общий коэффициент наследуемости / Total heritability coefficient (h^2)	Влияние фактора «генотип отца» / The influence of the "father's genotype" factor (h_A^2)	Влияние фактора «генотип матери» / The influence of the "mother's genotype" factor (h_B^2)	Совместное влияние факторов друг на друга и на изучаемые признаки потомков / The combined effect of factors on each other and on the studied traits of the offspring (h_{A+B}^2)
Удой за 305 дней лактации / Milk yield over 305 days of lactation	0,229	0,133***	0,022***	0,075
Содержание жира в молоке / Milk fat content	0,293	0,188***	0,016***	0,088
Содержание белка в молоке / Milk protein content	0,424***	0,248***	0,152***	0,023
Выход молочного жира / Milk fat yield	0,235	0,146***	0,019***	0,070
Выход молочного белка / Milk protein yield	0,223	0,149***	0,031***	0,043
Выход молока базисной жирности / Milk yield based on fat content	0,221*	0,136***	0,021***	0,062
Межотельный период / Period between calvings	0,132	0,037	0,060**	0,089
Продуктивное долголетие / Productive longevity	0,143	0,059***	0,005***	0,078

Примечание * – $P \le 0,05$; ** – $P \le 0,01$; *** – $P \le 0,001$.
Note * – $P \le 0,05$; ** – $P \le 0,01$; *** – $P \le 0,001$.

Кроме того, влияние генотипа отца на показатели хозяйственно полезных признаков дочерей более чем в 4 раза выше, чем генотипа матери по всем признакам, кроме продолжительности межотельного периода. Влияние всех учтённых факторов друг на друга и на изучаемые признаки продуктивности, фертильности и долголетия снижает значение коэф-

фициента наследуемости еще примерно в два раза, что подтверждает неэффективность отбора по фенотипическим проявлениям признаков из-за низкого коэффициента наследуемости, поэтому дальнейший прогресс для отбора по этим признакам возможен только посредством улучшения условий кормления и содержания, т. е. паратипических факторов.

В связи с этим, прежде чем начать отбор животных по тому или иному признаку, необходимо оценить силу влияния на изменчивость признака наследственности и среды. Оценка коэффициентов наследуемости необходима для прогноза генотипа (племенной ценности) животных, конструирования селекционных индексов по комплексу признаков, прогноза генетического прогресса по альтернативным вариантам в программах селекции.

Для признаков, характеризующих выход молочной продукции (выход молочного жира и белка, количество молока базисной жирности) факторы, включенные в биометрическую модель, оказали наибольшее влияние (коэффициент детерминации модели составил 95-97 %), причем максимальное воздействие оказал фактор «средний удой за 305 дней лактации» (70,5-71,2 %). Среди других учтённых факторов существенное влияние на изучаемые признаки оказали факторы «хозяйство» (5,12-25,89 %) и «год рождения коровы» (0,76-14,9 1%) (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние различных факторов (η^2%) на показатели хозяйственно полезных признаков коров красно-пестрой породы

Table 2 – Influence of various factors (η^2%) on indicators of economically useful traits of Red-and-White cows

Факторы / Factors	1	2	3	4	5	6	7	8
Хозяйство / Farm	9,38*	5,04*	25,89*	8,54*	10,47*	8,54*	5,12*	2,99*
Год рождения коровы / Year of the cow's birth	11,14*	4,96*	14,91*	13,12*	13,34*	13,12*	0,76*	13,77*
Кровность по ГП коровы, % / Bloodline of the Holstein cow, %	0,29*	0,70*	0,14	0,31*	0,25*	0,31*	0,07	0,17*
Кровность по ГП быка, % / Bloodline of the Holstein bull, %	0,78*	0,66	0,88	0,53*	0,77*	0,53*	0,03	0,52*
Год рождения быка / Year of the bull's birth	1,44	2,23	2,23	1,26*	1,75*	1,26*	0,15	0,79
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield over 305 days of lactation, kg	–	0,70*	1,18*	71,20*	70,55*	71,20*	4,72*	3,84*
Межотельный период / Period between calvings	6,22*	0,08	0,11*	0,01	0,01*	0,01	–	5,94*
Возраст в лактациях / Age in lactations	3,38*	1,49*	0,76*	0,08*	0,03*	0,08*	3,04*	–
Бык-отец / Father bull	2,18*	4,77*	5,62*	0,17*	0,10*	0,17*	0,80*	1,52*
Влияние не учтенных факторов (e) / Influence of unaccounted factors (e)	65,18*	79,36*	47,97*	4,79	2,73	4,79	85,30*	70,47*
Влияние учтенных факторов (R^2) / Influence of accounted factors (R^2)	34,82*	20,64*	52,03*	95,21*	97,27*	95,21*	14,70*	29,53*

R^2 – коэффициент детерминации модели; e – ошибка; 1 – средний удой за 305 дней лактации, кг; 2 – содержание жира в молоке,%; 3 – содержание белка в молоке, %; 4 – выход молочного жира, кг; 5 – выход молочного белка, кг; 6 – количество молока базисной жирности, кг; 7 – продолжительность межотельного периода; 8 – продуктивное долголетие, лактаций.

R^2 – coefficient of determination of the model; e – error; 1 – average milk yield for 305 days of lactation, kg; 2 – fat content in milk, %; 3 – protein content in milk, %; 4 – milk fat yield, kg; 5 – milk protein yield, kg; 6 – amount of milk of basic fat content, kg; 7 – calving interval length; 8 – productive longevity, in lactations.

Необходимо отметить, что генетический фактор «кровность по голштинской породе» влияет на изучаемые признаки очень слабо (доля влияния менее 1 %), хотя оно статистически достоверно.

Продолжительность продуктивной жизни животного является важным фактором, влияющим на рентабельность производства молока, поэтому увеличение срока хозяйственного использования коровы снижает затраты на их замену, изменяет возрастную структуру стада, увеличивая долю полновозрастных, как правило более высокопродуктивных коров. Даже от менее продуктивных животных можно получить больше прибыли, если

они лактируют в стаде более продолжительное время, чем одна-две лактации. При этом основным параметром, влияющим на показатель долголетия, кроме года рождения коровы, является фертильность.

Поскольку селекционно-племенная работа проводится, как правило, по нескольким признакам, то необходимо знать также фенотипические и генетические корреляции между ними (в том числе и для оценки коррелированного ответа). При положительной генетической корреляции число контролируемых признаков можно сократить. Число признаков определяет интенсивность отбора, эффект селекции и затраты на племенную работу.

В данной популяции коров наблюдается слабая отрицательная корреляция между удоем и процентным содержанием жира в молоке (r_p = -0,019; r_g = -0,255), что может приводить к снижению жира в молоке при селекции на увеличение молочной продуктивности. А вот по содержанию белка в молоке у коров наблюдается умеренная положительная генетическая корреляция (r_g = +0,478), поэтому отбор по молочной продуктивности будет опосредованно способствовать увеличению процентного содержания белка в молоке (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между изучаемыми хозяйственно полезными признаками коров красно-пестрой породы (над диагональю – генетические корреляции (r_g), под диагональю – фенотипические корреляции (r_p))

Table 3 – Correlation coefficients between the studied economically useful traits of Red-and-White cows (above the diagonal – genetic correlations (rg), below the diagonal – phenotypic correlations (rp))

	Удой за 305 дней лактации кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	МДЖ, % / Fat content, %	МДБ, % / Protein content, %	Выход МЖ, кг / Milk fat yield, kg	Выход МБ, кг / Milk protein yield, kg	МОП, дней / Interval between calvings, days	Долголетие, лактаций / Longevity, lactations	Выход МБЖ, кг / Milk fat yield, kg
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	-	-0,255***	0,478***	0,985***	0,982***	0,242***	-0,639***	0,985***
МДЖ, % / Fat content, %	-0,019	-	-0,181***	-0,086***	-0,261***	0,048***	0,409***	-0,086***
МДБ, % / Protein content, %	0,234***	0,102***	-	0,467***	0,635***	-0,110***	-0,632***	0,467***
Выход МЖ, кг / Milk fat yield, kg	0,980***	0,174***	0,252***	-	0,968***	0,267***	-0,594***	1,000***
Выход МБ, кг / Milk protein yield, kg	0,990***	-0,002	0,364***	0,975***	-	0,193***	-0,690***	0,968***
МОП, дней / Interval between calvings, days	0,211***	-0,017	-0,010	0,206***	0,200***	-	0,152***	0,267***
Долголетие, лактаций / Longevity, lactations	0,066***	0,071***	-0,056***	0,078***	0,054***	-0,105***	-	-0,594***
Выход МБЖ, кг / Milk fat yield, kg	0,980***	0,174***	0,252***	1,000***	0,975***	0,206***	0,078***	-

Увеличение молочной продуктивности приводит к увеличению интервала между отелами, причем значения как фенотипической (r_p = 0,211), так и генетической корреляции схожи (r_g = 0,242), хотя и слабые.

Высокая молочная продуктивность положительно, но очень слабо коррелирует с фенотипическим показателем продуктивного долголетия (r_p = 0,066), однако генетическая корреляция значительная и имеет отрицательное направление (r_g = -0,639), что указывает на снижение продолжительности хозяйственного использования коров при увеличении среднего удоя за 305 дней лактации. Примерно на 30 % изменчивость продолжительности продуктивного долголетия обусловлена изменчивостью удоя за 305 дней лактации.

Необходимо отметить, что все выявленные корреляционные связи между фенотипическими показателями продуктивного долголетия и другими хозяйственно полезными признаками были очень слабыми, хотя и разнонаправленными (r_p = -0,105…+0,078), тогда как генетические корреляции были в разы выше и колебались от умеренной положительной (r_g = 0,409) связи для массовой доли белка в молоке до значительной отрицательной связи (r_g = -0,594…-0,690) с большинством изученных признаков.

Исследование живых коров показало, что их удой за 305 дней лактации составил 6 944 кг молока, что в среднем достоверно на 22,9 % (P ≤ 0,001) (в зависимости от номера лактации – на 21,3-29,5 %) выше, чем у выбывших животных. Кроме того, во вторую лактацию у коров наблюдается значительная прибавка в продуктивности – на 511 кг, в третью – на 309 кг молока, что достоверно выше, чем разница между другими смежными лактациями (P ≤ 0,001) (рисунок 4).

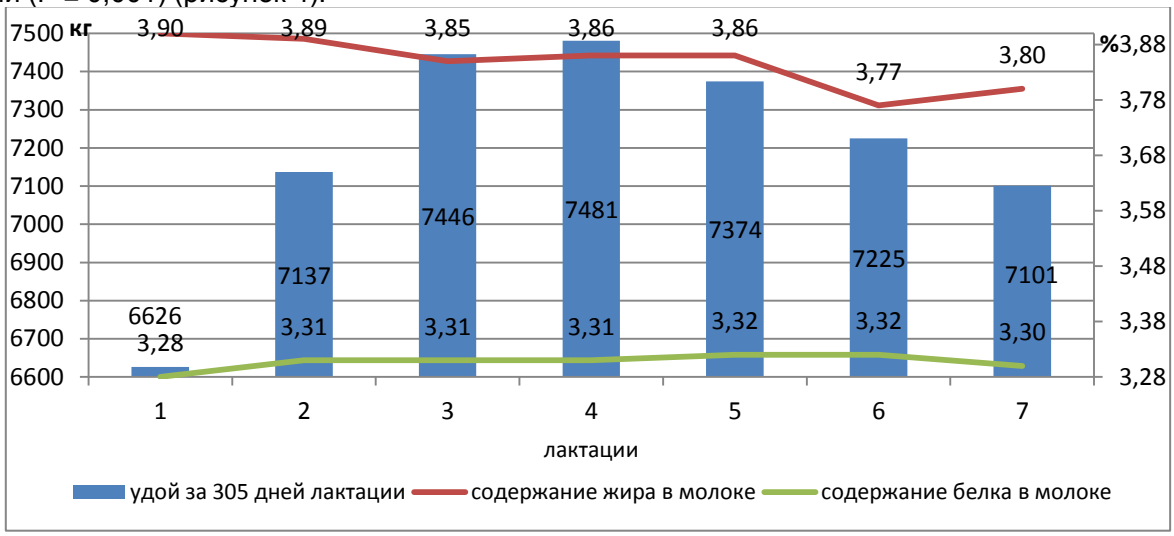


Рисунок 4 – Динамика молочной продуктивности и качества молока живых коров красно-пестрой породы в разрезе лактаций
Figure 4 – Dynamics of milk productivity and milk quality of live Red-and-White cows by lactation

Процентное содержание жира в молоке живых коров на 0,05-0,08 % достоверно выше (P ≤ 0,001), чем у выбывших только в первые две лактации, затем у живых коров наблюдается снижение содержания жира, хотя эта разница по последующим лактациям с выбывшими коровами статистически недостоверна. В среднем по всем лактациям содержание жира в молоке живых коров на 0,02 % достоверно (P ≤ 0,001) выше, чем у выбывших.

Если у выбывших коров наблюдалась возрастающая динамика содержания жира в молоке при возрастании номера лактации, то у живых коров наблюдается обратная картина – у стародойных коров содержание жира в молоке достоверно на 0,10 % ниже (P ≤ 0,001) по сравнению с первотелками.

Содержание белка в молоке за последние годы выросло более значительно, чем содержание жира, что указывает на целенаправленную селекционно-племенную работу в данном направлении – превосходство живых коров по процентному содержанию белка в молоке составило 0,12-0,13 % (P ≤ 0,001) по сравнению с выбывшими животными. Между смежными лактациями живых коров достоверная разница по содержанию белка в молоке наблюдалась только между первой и второй лактациями (+0,03 % (P ≤ 0,001)), в последующие лактации этот показатель практически не менялся.

К сожалению, показатели фертильности живых коров по сравнению с выбывшими несколько снизились, так как продолжительность межотельного периода увеличилась в среднем на 2,0-6,9 % (P ≤ 0,001), что в днях составляет прибавку в 8-27 дней. Между смежными лактациями в продолжительности МОП у живых коров достоверной разницы выявлено не было.

Средняя продолжительность продуктивного долголетия живых коров составила 2,6 лактаций, что достоверно на данный момент ниже, чем у выбывших коров, однако эти животные еще не выбыли из стада, поэтому есть вероятность, что тенденция к снижению числа лактаций у коров замедлится.

Показатели изменчивости изучаемых признаков по сравнению с выбывшими коровами практически не изменились, кроме процентного содержания жира в молоке – фенотипическая изменчивость этого признака выросла в 2 раза и составила в среднем 8,7 %.

Как и у выбывших коров, у живых животных с увеличением кровности по голштинской породе достоверно возрастает продуктивность за 305 дней лактации – у высококровных коров в среднем удой на 7,7 % выше, чем у животных с кровностью менее 50 %.

Содержание жира в молоке коров с увеличением кровности по голштинской породе наоборот снижается – разница составила 0,14 % (P ≤ 0,001).

Содержание белка в молоке с возрастанием кровности несколько увеличивается, хотя эта разница для высококровных коров статистически недостоверна.

Несмотря на то, что исследовались живые животные, продуктивная жизнь которых еще не закончилась, у них, как и у выбывших, наблюдалась четкая достоверная зависимость продуктивного долголетия от кровности по голштинской породе – с возрастанием кровности продуктивная жизнь коров снижается в 2 раза. Поэтому полученное пожизненное на данный момент количество молока у коров с кровностью более 94 % на 22,5-35,3 % меньше, чем у коров с более низким процентом кровности (рисунок 5).

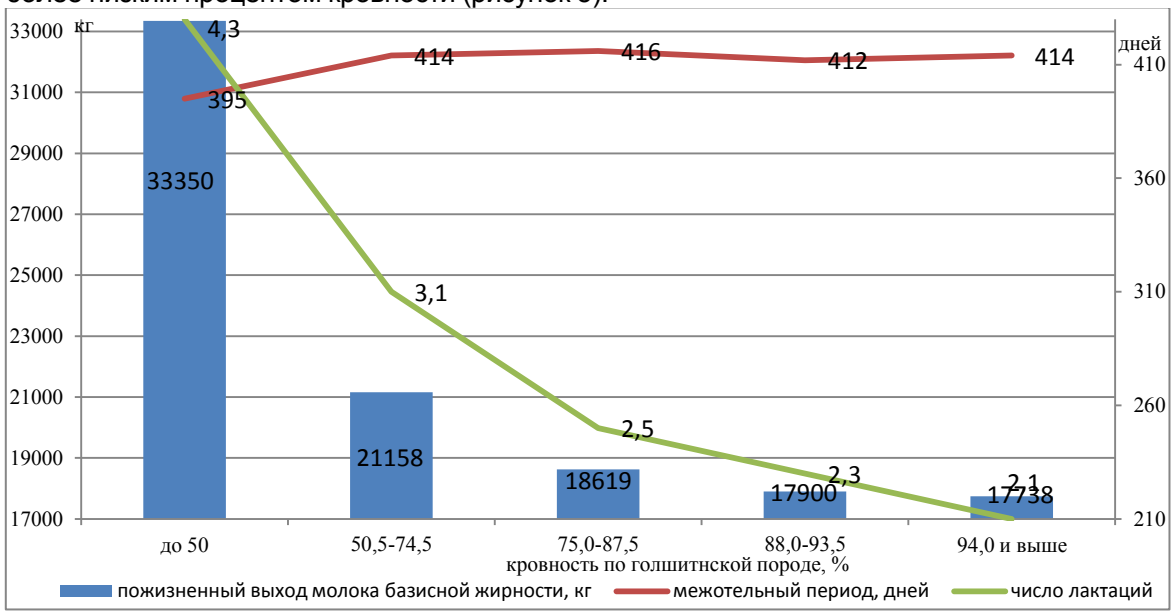


Рисунок 5 – Влияние кровности по голштинской породе на показатели хозяйственно полезных признаков живых коров красно-пестрой породы

Figure 5 – Influence of Holstein blood proportion on indicators of economically useful traits of live Red-and-White cows

Заключение. Исследования генетических и паратипических факторов позволило установить, что высокая молочная продуктивность слабо положительно коррелирует с фенотипическим показателем продуктивного долголетия (r_p = 0,066), однако генетическая корреляция имеет значительное отрицательное направление (r_g = -0,639), что указывает на снижение продолжительности хозяйственного использования коров при увеличении среднего удоя за 305 дней лактации. Превосходство живых по сравнению с выбывшими коровами по процентному содержанию белка в молоке составило 0,12-0,13 % (P ≤ 0,001), что указывает на целенаправленную селекционно-племенную работу в данном направлении. У живых и выбывших животных выявлено значительное снижение общего выхода молочной продукции с увеличением кровности по голштинской породе. Выявленные взаимосвязи между признаками будут учтены при проведении селекционно-племенной работы, а также при оценке племенной ценности животных красно-пестрой породы.

Conclusion. The study of genetic and paratypic factors revealed that high milk productivity has a weak positive correlation with the phenotypic indicator of productive longevity (r_p = 0.066); however, the genetic correlation has a significant negative direction (r_g = -0.639), which indicates a decrease in the length of economic use of cows with an increase in average milk yield per 305 days of lactation. The superiority of live cows compared to culled animals in terms of protein percentage in milk was 0.12-0.13 % (P≤0.001), which indicates targeted breeding work in this direction. In live and

culled animals, a significant decrease in the total milk yield was found with an increase in Holstein blood proportion. The identified relationships between traits will be taken into account during breeding work, as well as in assessing the breeding value of Red-and-White cows.

Библиографический список

1. Дунин И. М., Аджибеков К. К., Волохов И. М. и др. Породные ресурсы красно-пестрого скота в России. Зоотехния. 2019. № 5. С. 4.
2. Терентьева Н. А., Рыжова Н. Г., Нальвадаев Н. Я., Анашкин А. Г. Индексная оценка общей племенной ценности коров красно-пестрой породы Воронежской области. Аграрно-пищевые инновации. 2025. № 2 (30). С. 20-29.
3. Дунин И. М., Аджибеков К. К., Козанков А. Г. и др. Воспроизводительные качества коров красно-пестрой породы. Зоотехния. 2023. № 1. С. 36-38.
4. Кибкало Л. И. Разведение и использование крупного рогатого скота красно-пестрой породы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 5. С. 172-175.
5. Антипова Т. А., Кудряшова О. В., Горлов И. Ф. и др. Продуктивность и качество молока коров различных пород в условиях Волгоградской области. Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5 (77). С. 166-177.
6. Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Анисимова Е. Ю. и др. Молочная продуктивность разных пород скота в хозяйствах Ростовской области. Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 268-278.
7. Горелик А. С., Горелик О. В., Ребезов М. Б. и др. Изменение показателей молочной продуктивности по лактациям. Аграрная наука. 2025. № 8. С. 32-38.
8. Зернина С. Г. Сравнительная характеристика молочной продуктивности коров разного возраста и происхождения. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 57. С. 79-85.
9. Чернышева Т. В., Востроилов А. В., Артемов Е. С. и др. Влияние кровности по голштинской породе на продуктивные качества и уровень здоровья коров красно-пестрой молочной породы. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2024. № 2 (77). С. 153-156.
10. Щегольков Н. Ф., Голубков А. И., Нальвадаев Н. Я. и др. Оценка коров красно-пестрой породы по продолжительности производственного использования и пожизненной продуктивности в племенных хозяйствах Красноярского края. Аграрный вестник Северного Кавказа. 2023. № 4 (52). С. 56-62.
11. Мартынова Е. Н., Якимова В. Ю. Молочная продуктивность и долголетие высокопродуктивных коров в зависимости от кровности по голштинской породе. Пермский аграрный вестник. 2019. № 2 (26). С. 128-136.
12. Игнатьева Н. Л., Воронова И. В., Немцева Е. Ю. Влияние различных факторов на продуктивное долголетие коров. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2 (62). С. 155-161.

References

1. Dunin I. M., Adzhibekov K. K., Volokhov I. M. et al. Breed resources of red-and-white cattle in Russia.Zootekhniya. 2019. № 5. P. 4.
2. Terentyeva N. A., Ryzhova N. G., Nalvadaev N. Y. Anashkin A. G. Index assessment of the overall breeding value of Red-and-White cows in the Voronezh region. Agrarian and food Innovations. 2025. № 2 (30). Pp. 20-29.
3. Dunin I. M., Adzhibekov K. K., Kozankov A. G. et al. Reproductive qualities of cows of the Red-Mottle breed. Zootekhniya. 2023. № 1. Pp. 36-38.
4. Kibkalo L. I. Breeding and use of red-spotted cattle. Bulletin of the Kursk State Agrarian University. 2025. № 5. Pp. 172-175.
5. Antipova T. A., Kudryashova O. V., Gorlov I. F. et al. Dairy productivity and quality of milk from different breeds of cattle grown in Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. № 5 (77). Pp. 166-177.
6. Gorlov I. F., Mosolov A. A, Anisimova E. Yu., et al. The dairy productivity of the different livestock breeds in the farms of the Rostov region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. № 5 (83). Pp. 268-278.
7. Gorelik A. S., Gorelik O. V., Rebezov M. B. Changes in milk productivity indicators by lactation. Agrarian science. 2025. № 8. Pp. 32-38.
8. Zernina S. G. Comparative characteristics of milk productivity of cows of different ages and origins.News of the Saint Petersburg State Agrarian University. 2019. № 57. Pp. 79-85.
9. Chernysheva T. V., Vostroilov A. V., Artemov E. S. The influence of Holstein blood type on the productive qualities and health level of red-mottled dairy cows. Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University. 2024. № 2 (77). Pp. 153-156.
10. Shchegolkov N. F., Golubkov A. I., Nalvadaev N. Ya. Assessment of red-moiled cows of different genotypes by duration of production use and lifetime productivity in breeding farms of the Krasnoyarsk region. Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2023. № 4 (52). Pp. 56-62.
11. Martynova E. N., Yakimova V. Yu. Milk yield and longevity of high yielding cows' different levels of productivity depending on Holstein blood share. Perm Agrarian Journal. 2019. № 2 (26). Pp. 128-136.
12. Ignatieva N. L., Voronova I. V., Nemtseva E. Yu. Influence of various on productive longevity of cows. News of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. № 2 (62). Pp. 155-161.

Информация об авторах

Козанков Александр Геннадьевич, главный научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИплем (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, п. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13).
Рыжова Наталья Геннадьевна, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИплем (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, п. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13).
Терентьева Нэля Александровна, старший научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИплем (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, п. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13).
Нетесов Александр Александрович, научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИплем (Российская Федерация, 141212, Московская область, г. Пушкино, п. Лесные Поляны, ул. Ленина, 13).

Authors' Information
Kozankov Aleksandr Gennadievich, Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin Str., 13).
Ryzhova Natalya Gennadievna, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin Str., 13).
Terentyeva Nelya Aleksandrovna, Senior Researcher, All-Russian Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin Str., 13).
Netesov Aleksandr Aleksandrovich, Researcher, All-Russian Research Institute of Breeding (Russian Federation, 141212, Moscow region, Pushkino, Lesnye Polyany settlement, Lenin Str., 13).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-42

THE EFFECT OF FEED ADDITIVE ON THE GOATS' MACRO- AND MICROELEMENT BLOOD COMPOSITION

Kharlamov A. V., Panin V. A.

Federal Research Center of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: oniish@yandex.ru

Received 05.03.2026 Submitted 15.07.2026

The presented study is included in a comprehensive research program implemented by the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (No. FNWZ-2024-0001) in the period from 2024 to 2026.

Abstract

Introduction. Despite the importance of analyzing the macro- and microelement composition of the blood of Orenburg goats for optimizing down production, the number of publications on this topic is limited. The present study is devoted to the analysis of changes in the elemental parameters of blood in Orenburg breed goats with different productivity. Special attention is paid to the study of the effect of feed additives on the macro- and microelement composition of blood in the climatic conditions of the Orenburg region. The paper analyzes the qualitative characteristics of the macro and microelement composition of the blood of Orenburg breed goats that received and did not receive feed additives and have different productivity. The work is of practical importance for the development of down goat breeding in the Orenburg region. **The object** of the study was the indicators of the macro and microelement composition of goat blood**. Materials and methods.** The study was conducted within the framework of the program of the FNC BST RAS (2024-2026, reg. № FNWZ-2024-0001). The research was conducted in the SEC "ZAGORNY". Two groups of goats (16 heads each, aged 20 months) with reduced productivity (groups I-II) were formed. The diet in both groups was identical. In group II, a complex of trace elements in the form of salts (mg/head/day) was added to the basic diet for 4 months (from November to February): Mn ($MnSO_4$) – 3.5; Co ($CoSO_4$) – 2.5; Cr ($CrSO_4$) – 1.0; Zn ($ZnSO_4$) – 3.5; Se (Na_2SeO_3) – 2.0. **Results and conclusions.** The additive used in the diet of goats contributed to an increase in down productivity ($P<0.01$) and improved the quality characteristics of down fibers ($P<0.05$). A quantitative analysis of the hair after two combings revealed an excess of the indicator of group II (259.45 g) over the control by 33.76 g (+14.12 %). In parallel, the following qualitative changes were recorded: a significant increase in the true length of down by 0.03 cm (0.43 %); a decrease in fiber tone to 16.59 microns, which is 0.03 microns (0.18 %) lower than the values of group I; an increase in the proportion of down fibers in the coat by 8.71 %; reduction of awn content in wool by 8.5 % – from 46.10 % to 37.60 %. The totality of the data allows us to conclude that the use of trace element feed additives is a scientifically sound method for optimizing the down productivity of goats, providing both a quantitative increase in raw materials and an improvement in its technological properties. From the data obtained, it follows that in goats with increased hairline, the Mn content in the blood was 0.02 mg/kg or 66.67 % higher than in the first group. The concentration of Cu in the blood of goats of the first group was 0.91 mg/kg, which is 0.17 mg/kg or 18.68 % higher. The reduced Fe content was determined in the first group by 2.46 mg/kg or 55.16 %. The amount of Cr in the blood was found to be elevated in the second group by 0.01 mg/kg or 16.67 %. The Zn content was increased by 0.02 mg/kg or 4.08 % in the second group. The amount of Se in both groups was 0.11 mg/kg. The I content in both groups was 0.05 mg/kg. The study established a correlation between the content of elements in the blood of goats, their productivity and feed additives of trace elements (Mn, Co, Cr, Zn, Se). Variations in the elemental composition of blood during pregnancy and their relationship to the productive characteristics of animals are analyzed.

Keywords: *goat farming, goat feeding, goat blood composition, goat blood indicators, trace element feed additives.*

Citation. Kharlamov A. V., Panin V. A. The effect of feed additive on the goats' macro- and microelement blood composition. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 380-388 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-42.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the presentation.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.39.087:612.11/.12

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КРОВИ КОЗ

Харламов А. В., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Панин В. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник*

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН»
г. Оренбург, Российская Федерация

Представленное исследование включено в комплексную научно-исследовательскую программу, реализуемую Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (№ FNWZ-2024-0001) в период с 2024 по 2026 год.

Актуальность. Несмотря на значимость анализа макро- и микроэлементного состава крови коз оренбургской породы для оптимизации производства пуха, число публикаций по этой теме ограничено. Настоящее исследование посвящено анализу изменений элементных показателей крови у коз оренбургской породы с разной продуктивностью. Особое внимание уделяется изучению влияния кормовых добавок на макро- и микроэлементный состав крови в условиях климата Оренбургской области. В работе выполнен анализ качественных характеристик макро- и микроэлементного состава крови коз оренбургской породы, получавших и не получавших добавки в корм и обладающих разной продуктивностью. Работа имеет практическое значение для развития пухового козоводства в Оренбургской области. **Объектом** исследования послужили показатели макро- и микроэлементного состава крови коз. **Материалы и методы.** Исследование проведено в рамках программы ФНЦ БСТ РАН (2024-2026, рег. № FNWZ-2024-0001). Исследования проведены в СПК «ЗАГОРНЫЙ». Сформированы две группы коз (по 16 голов, возраст – 20 месяцев) с пониженной продуктивностью (I–II группы). Рацион в обеих группах был идентичным. Во II группе к основному рациону на 4 месяца (с ноября по февраль) добавляли комплекс микроэлементов в форме солей (мг/гол/сут): Mn ($MnSO_4$) – 3,5; Co ($CoSO_4$) – 2,5; Cr ($CrSO_4$) – 1,0; Zn ($ZnSO_4$) – 3,5; Se (Na_2SeO_3) – 2,0. **Результаты и выводы.** Используемая добавка в рацион коз способствовала повышению пуховой продуктивности ($P \leq 0,01$) и улучшению качественных характеристик пуховых волокон ($P \leq 0,05$). Количественный анализ начёса после двух чесок выявил превышение показателя II группы (259,45 г) над контрольной на 33,76 г (+14,12 %). Параллельно зафиксированы следующие качественные изменения: достоверное увеличение истинной длины пуха на 0,03 см (0,43 %); уменьшение тонины волокна до 16,59 мкм, что на 0,03 мкм (0,18 %) ниже значений I группы; прирост доли пуховых волокон в шерстном покрове на 8,71 %; снижение содержания ости в шерсти на 8,5 % – с 46,10 % до 37,60 %. Совокупность данных позволяет заключить, что применение микроэлементных кормовых добавок является научно обоснованным методом оптимизации пуховой продуктивности коз, обеспечивающим как количественный прирост сырья, так и улучшение его технологических свойств. Из полученных данных следует, что у имеющих повышенный начес коз содержание в крови Mn у было на 0,02 мг/кг или на 66,67 % выше, чем в первой группе. Концентрация Cu в крови коз первой группы было – 0,91 мг/кг, что на 0,17 мг/кг или 18,68 % выше. Содержание Fe пониженным определено в первой группе на 2,46 мг/кг или 55,16 %. Количество в крови Cr повышенным установлено во второй группе на 0,01 мг/кг или 16,67 %. Содержание Zn повышенным на 0,02 мг/кг или 4,08 % было во второй группе. Количество Se в обеих группах составило – 0,11 мг/кг. Содержание I в обеих группах было равным 0,05 мг/кг. В исследовании установлена корреляция между содержанием элементов в крови коз, их продуктивностью и добавками в корм микроэлементов (Mn, Co, Cr, Zn, Se). Проанализированы вариации элементного состава крови во время чески и их связь с продуктивными характеристиками животных.

Ключевые слова: *козоводство, кормление коз, состав крови коз, показатели крови коз, микроэлементные кормовые добавки.*

Цитирование. Харламов А. В., Панин В. А. Влияние кормовой добавки на макро- и микроэлементный состав крови коз. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 380-388. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-42.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Стремление к достижению и поддержанию продовольственной безопасности на территории Российской Федерации напрямую зависит от уровня развития селекционной работы в животноводстве. Научные исследования показывают, что совершенствование племенных и хозяйственно полезных характеристик сельскохозяйственных животных должно стать приоритетным направлением аграрной политики. Рост объёмов сельскохозяйственного производства требует внедрения передовых технологий в селекционный процесс. Это включает: использование достижений современной генетики для повышения качества существующих пород, разработку новых селекционных линий и внутрипородных типов, углублённое изучение механизмов формирования высокой продуктивности животных. Таким образом, интеграция инновационных методов в практику селекции становится не просто тенденцией, а объективной необходимостью для устойчивого развития отрасли [1-8].

Использование добавок и микроэлементов в рационах животных считается оправданным многими авторами. Это объясняется высокой биологической активностью микроэлементов и часто наблюдаемым дефицитом этих веществ в животноводческой продукции. Такой дефицит негативно сказывается на здоровье животных, особенно интенсивно выращиваемых, а также на здоровье потребителей этой продукции. Значение микроэлементов для организма сельскохозяйственных животных очевидно велико [9-15].

Установлено, что одним из главных факторов, определяющих эффективность животноводства, являются сезонные изменения продуктивности. Данные колебания обусловлены воздействием внешних факторов, таких как погодные условия и продолжительность светового дня, на физиологические процессы и обмен веществ животных. При этом изменяются потребности организма в питательных веществах, что требует изменения состава кормов и использования соответствующих добавок [16-18].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что комплексный морфологический и биохимический анализ крови предоставляет объективные данные о физиологических процессах, протекающих в организме животного. Изменяющийся состав крови, обусловленный физиологическим состоянием организма, делает гематологический анализ информативным методом оценки интенсивности обменных процессов. Гематологические показатели позволяют комплексно оценить физиологическое состояние организма и являются косвенной характеристикой продуктивных качеств животных. Эффективным методом повышения продуктивности является применение кормовых добавок. Они способны стабилизировать гематологические показатели и повысить общую резистентность организма. Применение кормовых добавок является действенным инструментом повышения продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы [10, 13-15, 19-21].

Изучение элементного состава крови коз оренбургской породы способствует совершенствованию технологий производства пуха. В его рамках проводится комплексный анализ трансформаций микроэлементных показателей крови у коз оренбургской породы с учётом различий в продуктивности животных. Ключевой аспект работы – изучение влияния кормовых добавок на макро и микроэлементный профиль крови. Это особенно актуально для Оренбургской области, где климатические условия (резко континентальный климат, перепады температур, ветровая нагрузка) могут оказывать значительное воздействие на обменные процессы в организме животных. Результаты исследования позволят: выявить закономерности изменений биохимического статуса коз; оптимизировать рацион кормления с учётом добавок; повысить пуховую продуктивность за счёт коррекции минерального баланса. Таким образом, работа имеет важное практическое значение для развития пухового козоводства в Оренбургской области.

Материалы и методы. Исследования проведены в сельскохозяйственном перерабатывающем снабженческо-сбытовом потребительском кооперативе «Загорный». Для проведения исследования по принципу аналогов сформированы две группы коз в возрасте 20 месяцев по 16 голов в каждой, обладающих более низкими показателями продуктивности по стаду, (I и II группы). Рацион кормления в обеих группах был идентичным, козам I и II групп скармливали корма согласно рациону, применяемому в хозяйстве (основной рацион). Во II группе дополнительно к основному рациону в комбикорм включали комплекс микроэлементов в форме солей: Mn ($MnSO_4$) – 3,5 мг/гол/сут; Co ($CoSO_4$) – 2,5 мг/гол/сут; Cr ($CrSO_4$) – 1,0 мг/гол/сут; Zn ($ZnSO_4$) – 3,5 мг/гол/сут; Se (Na_2SeO_3) – 2,0 мг/гол/сут в течение четырех месяцев, с ноября по февраль включительно (таблица 1).

Таблица 1 – Структурированный план исследования
Table 1 – Structured research plan

Группа / Group	Рацион кормления / Feeding ration	Материал для исследования / Research material
I – контрольный вариант / I – control option	основной рацион / basic ration	образцы пуха, шерстного покрова, крови / down, wool, and blood samples
II – опытный вариант / II – the experimental version	основной рацион + добавки микроэлементов в дозе (мг/гол/сут): Mn – 3,5; Co – 2,5; Cr – 1,0; Zn – 3,5 и Se – 2,0 / basic diet + micronutrient supplements in a dose (mg/head / day): Mn – 3.5; Co – 2.5; Cr – 1.0; Zn – 3.5 and Se – 2.0	

Результаты предшествующих исследований свидетельствуют о необходимости включения в осенние и зимние рационы коз оренбургской породы минеральных добавок – солей или элементов Mn, Co, Cr, Zn и Se – с целью повышения их пуховой продуктивности. В этом исследовании для выявления различий в элементном статусе, характерных для высокопродуктивных и низкопродуктивных коз, проведена индивидуальная двукратная ческа репрезентативной выборки, состоящей из 100 голов, по итогам которой исследуемые козы оренбургской породы в возрасте 24 месяцев были разделены на две группы по 50 голов в каждой (I группа – высокопродуктивные козы (начес – 265-385 г/гол), II группа – низкопродуктивные козы (начес – 155-255 г/гол)).

Показатель пуховой продуктивности коз в I группе составил – 323,14 г/гол, что в сравнении с особями II группы на 96,32 г выше, содержание пуха в шерстном покрове у них было на 9,1 % больше. При исследовании элементного состава шерсти установлены достоверные различия между низкопродуктивными и высокопродуктивными козами по содержанию в волокнах шерстного покрова отдельных необходимых элементов. Высокопродуктивным козам было характерно большее содержание некоторых элементов: Mn на 1,61 мкг/г или 13,75 % ($P \leq 0,05$), Co на 0,05 мкг/г или 21,74 % ($P \leq 0,05$), Cr на 0,18 мкг/г или 13,24 % ($P \leq 0,05$), Zn на 9,42 мкг/г или 11,01 % ($P \leq 0,05$), Se на 0,18 мкг/г или 15,93 % ($P \leq 0,01$). В ходе проведенного исследования обнаружено, что содержание химических элементов (Mn, Co, Cr, Zn, Se) в шерсти коз коррелирует с их продуктивностью.

Введение в 2025 г. в состав рациона добавок установленных микроэлементов, которые влияют на пуховую продуктивность, необходимо для сбалансированного питания коз. Для введения микроэлементов использовали их соли, которые добавляли в комбикорм.

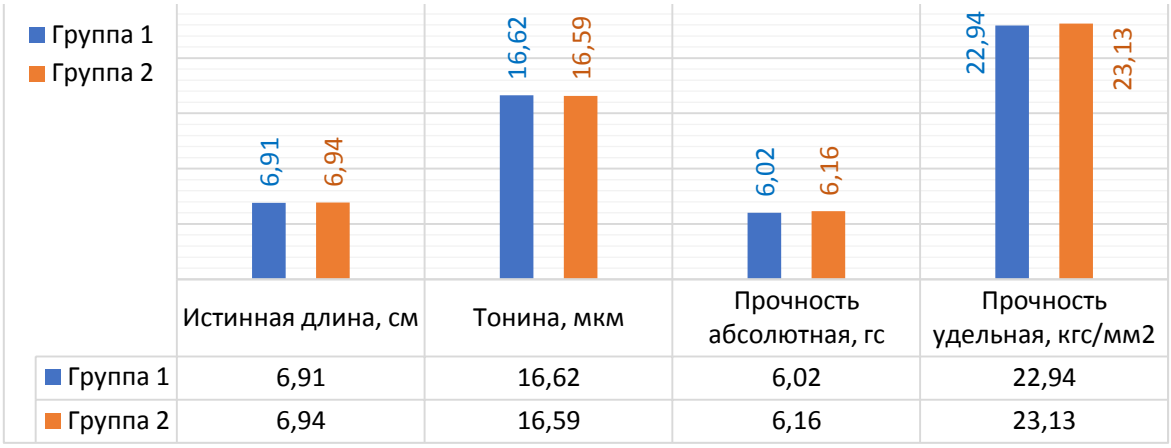
Результаты и обсуждение. Опыт осуществлен с ноября по февраль месяцы включительно. В связи с тем, что в общем поголовье коз в стаде хозяйства доля высокопродуктивных составляет 34,5 % (рисунок 1) а средний показатель продуктивности по стаду имеет 12,0 % коз, необходимо корректировать продуктивность животных в сторону увеличения.



Рисунок 1 – Распределение коз в стаде по продуктивности, %
Figure 1 – Distribution of goats in the herd by productivity, %

Введение в рацион коз II группы добавки микроэлементов привело к заметному улучшению показателей пуховой продуктивности и качества пуховых волокон. Количественные результаты двух чесок показали, что начёс у животных II группы достиг 259,45 г ($P \leq 0,01$), превысив показатель I группы на 33,76 г (+14,12 %). Кроме того, у коз, получавших добавку, наблюдались и качественные улучшения: увеличение истинной длины пуха

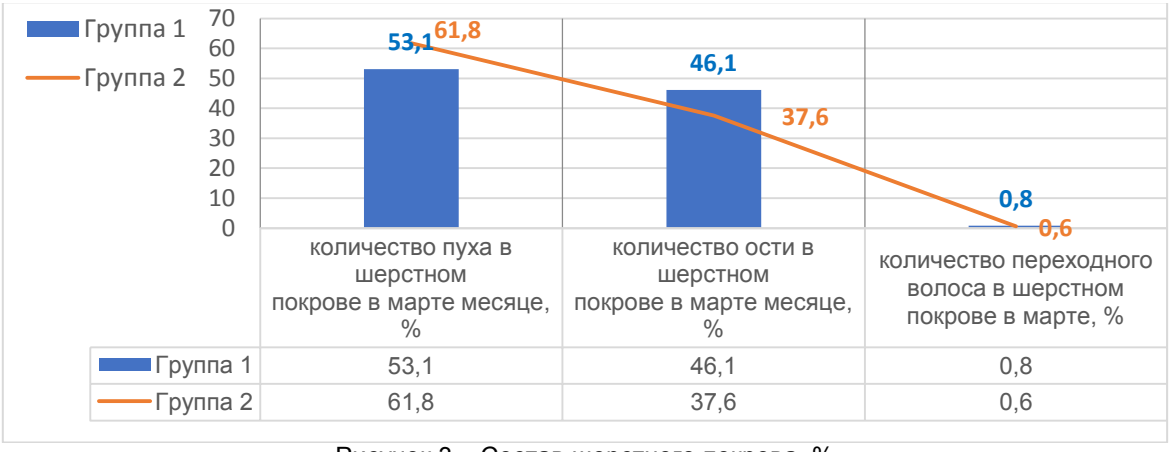
на 0,03 см (0,43 %); снижение тонины волокон до 16,59 мкм, что на 0,03 мкм (0,18 %) тоньше, чем у коз I группы (рисунок 2). Анализируя рисунок 3, можно сделать вывод о том, что рост доли пуховых волокон в шерстном покрове составил у коз, получавших добавку на 8,71 % ($P \leq 0,05$); сокращение содержания ости в шерсти у них было на 8,5 % ($P \leq 0,05$): с 46,10 % (I группа) до 37,60 % (II группа). Полученные данные свидетельствуют, что обогащение рациона микроэлементами позволяет не только повысить количество получаемого от одной особи пуха, но и улучшить его качественные характеристики, что в перспективе может способствовать росту общего объёма производства пуха в стаде.



	Истинная длина, см	Тонина, мкм	Прочность абсолютная, гс	Прочность удельная, кгс/мм2
Группа 1	6,91	16,62	6,02	22,94
Группа 2	6,94	16,59	6,16	23,13

Рисунок 2 – Показатели качества пухового волокна
Figure 2 – Down fiber quality indicators

Сравнительные показатели продуктивности и качества пуха указывают на то, что пуховая продуктивность (по итогам двух чесок) составила: II группа (с добавкой микроэлементов) – 249,43 г; I группа (контрольная) – на 32,78 г (13,14 %) меньше. Истинная длина пуха: II группа – выше на 0,03 см (0,43 %) по сравнению с I группой. Тонина волокон пуха – II группа: 16,59 мкм; разница с I группой: тоньше на 0,03 мкм (0,18 %). Содержание пуховых волокон в шерстном покрове: II группа – на 8,7 % больше, чем в I группе. Незначительное увеличение длины пуха (+0,43 %) не снижает его качества и может способствовать повышению прочности пряжи. Обогащение основного рациона коз микроэлементами достоверно повышает пуховую продуктивность: начёс пуха увеличивается на 32,78 г (13,14 %) на одно животное. Улучшаются качественные показатели пуха: уменьшается тонина волокон, увеличивается доля пуховых волокон, снижается содержание ости. Практическая значимость: применение минеральных добавок позволяет увеличить объём производства пуха в стаде без расширения поголовья, повысить качество сырья, что ведёт к росту его рыночной стоимости, оптимизировать структуру шерстного покрова, делая его более однородным и технологичным.



	количество пуха в шерстном покрове в марте месяце, %	количество ости в шерстном покрове в марте месяце, %	количество переходного волоса в шерстном покрове в марте, %
Группа 1	53,1	46,1	0,8
Группа 2	61,8	37,6	0,6

Рисунок 3 – Состав шерстного покрова, %
Figure 3 – Composition of the coat, %

Таким образом, включение микроэлементов в осенне-зимние рационы коз оренбургской породы является эффективным зоотехническим приёмом для повышения экономической эффективности козоводства.

Из данных, приведенных в таблице 2, можно сделать вывод, что коз с повышенным начесом количество содержащегося в крови Mn было на 0,02 мг/кг или на 66,67 % выше, чем в первой группе. Содержание Co (кобальта) было относительно одинаковым в обеих группах – 0,00 (0,000533333 мг/кг в первой группе и 0,000366667 мг/кг во второй). Концентрация Cu (меди) в крови коз первой группы была, наоборот, выше – 0,91 мг/кг, что на 0,17 мг/кг или 18,68 % больше. Содержание Fe (железа) было определено более низким в первой группе на 2,46 мг/кг или 55,16 % меньше. Количество в крови Cr повышенным установлено во второй группе на 0,01 мг/кг или 16,67 %. Содержание Zn повышенным на 0,02 мг/кг или 4,08 % было во второй группе. Количество Se (селена) в крови коз было равным в обеих группах – 0,11 мг/кг. Также и содержание I (йода) в обеих группах было равным 0,05 мг/кг.

Сравнение результатов выявило следующие различия в мг/кг.

1. Макроэлементы – Na: различия между группами минимальны: 3597,00 ± 100,76 (I) против 3621,67 ± 101,49 (II). Во II группе содержание Mg выше – 38,67 ± 14,50 против 29,00 ± 2,65 в I группе (рост на ~33 %). Незначительное снижение K во II группе: 212,67 ± 3,79 против 218,33 ± 13,32 в I. Небольшое увеличение Ca во II группе – 98,33 ± 21,57 против 91,67 ± 4,04. Практически идентичные значения P: 112,33 ± 32,52 (I) и 111,67 ± 16,86 (II).

2. Эссенциальные элементы. Во II группе концентрация Mn в 3 раза выше (0,03 ± 0,02) против 0,01 ± 0,00 в I. Cu – снижение во II группе на 19 %: 0,74 ± 0,09 против 0,91 ± 0,11. Fe – резкое увеличение во II группе – 4,46 ± 0,92 против 2,00 ± 0,33 (рост в 2,2 раза). Zn, Se, I: различия незначительны. Mo, Co, Cr: стабильные низкие концентрации, без значимых отличий.

Таблица 2 – Содержание элементов в крови коз во время чески, мг/кг
Table 2 – The content of elements in the blood of goats during pregnancy, mg/kg

Элемент / Element	Группа, (M±STD) / Group, (M±STD)	
	I	II
макроэлементы / macronutrients		
Na	3597,00 ± 100,76	3621,67 ± 101,49
Mg	29,00 ± 2,65	38,67 ± 14,50
K	218,33 ± 13,32	212,67 ± 3,79
Ca	91,67 ± 4,04	98,33 ± 21,57
P	112,33 ± 32,52	111,67 ± 16,86
эссенциальные элементы / essential elements		
Mn	0,01 ± 0,00	0,03 ± 0,02
Mo	0,01 ± 0,00	0,01 ± 0,01
Co	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Cu	0,91 ± 0,11	0,74 ± 0,09
Fe	2,00 ± 0,33	4,46 ± 0,92
Cr	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,04
Zn	0,47 ± 0,07	0,49 ± 0,09
Se	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,03
I	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,00
условно-эссенциальные элементы / conditionally essential elements		
As	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Li	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Ba	0,13 ± 0,08	0,10 ± 0,04
Ag	0,05 ± 0,03	0,04 ± 0,03
Bi	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Ni	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
токсичные элементы / toxic elements		
Al	1,01 ± 0,16	1,74 ± 0,51
Be	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pb	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Sr	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,02
Sb	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Cd	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Hg	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
потенциально-токсичные / potentially toxic		
Sn	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00

3. Условно эссенциальные элементы. – Ba: небольшое снижение во II группе (0,10 ± 0,04 против 0,13 ± 0,08). – Ag: незначительное уменьшение во II группе (0,04 ± 0,03 против 0,05 ± 0,03). – Li, As, Bi, Ni: концентрации либо нулевые, либо идентичные в обеих группах.

4. Токсичные элементы. – Al: напряжённое превышение во II группе – 1,74 ± 0,51 против 1,01 ± 0,16 в I (рост в 1,7 раза). – Sr: незначительное снижение во II группе (0,13 ± 0,02 против 0,14 ± 0,02). – Be, Pb, Sb, Cd, Hg: нулевые концентрации в обеих группах.

5. Потенциально токсичные элементы. – Sn: нулевые значения в обеих группах.

Следует отметить, что все полученные нами данные соответствовали пределам физиологической нормы.

Заключение. При проведении исследования установлено, что концентрация элементов в крови опытных коз коррелирует с их продуктивностью и введением в корм добавок микроэлементов (Mn, Co, Cr, Zn, Se). В ходе экспериментального исследования были проанализированы вариации элементного состава крови коз оренбургской породы и их связи с продуктивными характеристиками животных. Наиболее значимые различия в нашем опыте: резкое увеличение алюминия (Al) во II группе (в 9,6 раза), что может указывать на воздействие внешних факторов (загрязнение корма/воды); рост железа (Fe) во II группе в 2,2 раза – возможно, связано с метаболическими изменениями или питанием с добавками в корм; повышение магния (Mg) и марганца (Mn) во II группе. Стабильные показатели: натрий (Na), фосфор (P), цинк (Zn), селен (Se), йод (I) – минимальные различия между группами. Токсичные элементы (кроме Al) и потенциально токсичные – не обнаружены или находятся на следовых уровнях. Тенденции: во II группе наблюдается дисбаланс в обмене макро- и микроэлементов (рост Mg, Mn, Fe при снижении Cu). Нулевые значения ряда элементов (Co, As, Bi и др.) могут быть связаны с чувствительностью метода анализа или их реальным отсутствием в рационе.

Conclusions. The study found that the concentration of elements in the blood of experimental goats correlates with their productivity and the introduction of microelement additives (Mn, Co, Cr, Zn, Se) into the feed. During the experimental study, variations in the elemental composition of the blood of Orenburg breed goats and their relationship to the productive characteristics of the animals were analyzed. The most significant differences in our experience are a sharp increase in aluminum (Al) in group II (9.6 times), which may indicate the impact of external factors (contamination of feed/water). Iron (Fe) increased 2.2 – fold in group II, possibly due to metabolic changes or dietary supplements. Increased magnesium (Mg) and manganese (Mn) in group II. Stable indicators: Sodium (Na), phosphorus (P), zinc (Zn), selenium (Se), iodine (I) – minimal differences between the groups. Toxic elements (except Al) and potentially toxic ones are not detected or at trace levels. Trends: In group II, there is an imbalance in the metabolism of macro- and microelements (an increase in Mg, Mn, Fe with a decrease in Cu). The zero values of a number of elements (Co, As, Bi, etc.) may be related to the sensitivity of the analysis method or their actual absence in the diet.

Библиографический список

1. 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). С. 365-380.

2. Радчиков В. Ф. и др. Разработка сбалансированных кормов для КРС. Вопросы климатических изменений и адаптации к ним в условиях регионов: сборник тезисов выступлений международной научно-практической конференции. Челябинск: Челябинский государственный университет, 2025 С. 84-85.

3. Церенов И. В., Горлов И. Ф. Хозяйственно-биологические особенности овец калмыцкой курдючной породы. Волгоград: "СФЕРА", 2024. 250 с.

4. Шахбазова О. П. и др. Влияние генотипа на хозяйственно-биологические особенности бычков. Персиановский: Донской ГАУ, 2024. 185 с.

5. Горлов И. Ф. и др. Совершенствование хозяйственно-биологических особенностей овец эдильбаевской породы. Волгоград: "СФЕРА", 2024. 198 с.

6 Короткий В. П. и др. Влияние скармливания хвойно-энергетической добавки на продуктивность коров чёрно-пёстрой породы. Вопросы климатических изменений и адаптации к ним в условиях регионов: сборник выступлений международной научно-практической конференции. Челябинск: Челябинский государственный университет, 2025. С. 44-45.

7. Gorlov I. F. et al. Genetic characteristics of three sheep breeds in southern Russia: Comparison based on genome analysis. Iraqi Journal of Veterinary Sciences. 2024. V. 38. No. 3. Pp. 683-691.

8. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Церенов И. В., Князева С. А., Решетникова А. О., Юлдашбаев Ю. А. Мясная продуктивность выводимого типа овец калмыцкой курдючной породы. Овцы, козы, шерстяное дело. 2022. № 1. С. 22-24.

9. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В. и др. Эффективность новой органической кормовой добавки и ее влияние на качество продукции перепеловодства. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 279-295.

10. 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). С. 306-315.

11. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Николаев Д. В., Церенов И. В., Громова А. О., Гишларкаев А. Е., Юлдашбаев Ю. А., Магомадов Т. А. Влияние лактулозосодержащей кормовой добавки на мясную продуктивность баранчиков калмыцкой курдючной породы и качество копченых колбас. Овцы, козы, шерстяное дело. 2023. № 2. С. 46-51.

12. 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

13. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Шахбазова О. П., Раджабов Р. Г. Влияние новых кормовых добавок на основные морфо-биохимические показатели крови цыплят-бройлеров. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2024. № 1 (51). С. 79-86.

14. Горлов И. Ф., Николаев Д. В., Бармина Т. Н. и др. Влияние лактулозосодержащих кормовых добавок на продуктивность, качественные показатели молока и иммунный статус коз. Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 4. С. 89-100.

15. Горлов И. Ф., Калинина Н. В., Рудковская А. В. и др. Влияние фосфатидов и бишофита на зоотехнические показатели, гематологический и иммунный статус кур-несушек кросса Хайсекс Браун. Птицеводство. 2023. № 6. С. 19-26.

16. Панин В. А. Инновационное развитие козоводства в условиях часто повторяющихся засух. Научное обеспечение инновационного развития сельского хозяйства в условиях часто повторяющихся засух: материалы международной научно-практической конференции. Оренбург: ООО "Агентство "Пресса", 2017. С. 318-324.

17. Gorlov I. F., Shirokova N. V., Slozhenkina M. I. et al. Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. Small Ruminant Research. 2017. V. 150. Pp. 11-14.

18. Sanou L., Ouédraogo S., Savadogo P., Bindelle J. et al. Plant biomass and seed production of the legumes Aeschynomeme histrix and Stylosanthes hamata and the potential of endozoochory by cattle and sheep in semi-arid native pastures. Heliyon. 2023. V. 9 (7). Art. e18202.

19. Шахбазова О. П., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Дорошенко В. Б. Биохимические показатели крови бычков казахской белоголовой породы разных генотипов. Инновации в производстве продуктов питания: от селекции животных до технологии пищевых производств: материалы международных научно-практических конференций. Персиановский, 2019. С. 245-250.

20. Панин В. А. Гематологические показатели симментальских коров и симментал Х голштинских помесей в условиях Южного Урала. Ветеринария и кормление. 2017. № 1. С. 14-17.

21. Панин В. А., Харламов А. В. Изменение гематологических показателей и продуктивности коз с возрастом. Пермский аграрный вестник. 2024. № 4 (48). С. 123-132.

References

1. Anisimova E. Yu., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Mosolova E. A., Shakhbazova O. P., Radjabov R. G., Realization of the genetic potential and special breed composition of dairy cattle in the Southern Federal District. Proceedings of the NV AUC. 2025. No 6 (84). Pp. 365-380.

2. Radchikov V. F. et al. Development of balanced feed for cattle. Issues of climate change and adaptation to them in the conditions of regions: a collection of abstracts of the international scientific and practical conference. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, 2025. Pp. 84-85.

3. Tserenov I. V., Gorlov I. F. Economic and biological features of sheep of the Kalmyk sheepskin breed. Volgograd: "SPHERE", 2024. 250 p.

4. Shakhbazova O. P. et al. The influence of the genotype on the economic and biological characteristics of bull calves. Persianovsky: Donskoy State Agrarian University, 2024. 185 p.

5. Gorlov I. F. et al. Improvement of the economic and biological characteristics of sheep of the Edilbaevskaya breed. Volgograd: SPHERE, 2024. 198 p.

6 Korotky V. P. et al. The effect of feeding a coniferous energy supplement on the productivity of black-and-white cows. Issues of climate change and adaptation to them in the conditions of the regions: a collection of speeches of the international scientific and practical conference. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University, 2025. Pp. 44-45.

7. Gorlov I. F. et al. Genetic characteristics of three sheep breeds in southern Russia: Comparison based on genome analysis. Iraqi Journal of Veterinary Sciences. 2024. V. 38. No. 3. Pp. 683-691.

8. Gorlov I. F., Skladenkina M. I., Tserenov I. V., Knyazeva S. A., Reshetnikova A. O., Yuldashbaev Yu. A. Meat productivity of the bred type of sheep of the Kalmyk chicken breed. Sheep, goats, wool business. 2022. No 1. Pp. 22-24.

9. Skladenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V. et al. The effectiveness of a new organic feed additive and its impact on the quality of livestock products. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2025. No 5 (83). Pp. 279-295.

10. Sozdenkina M. I., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V., Mosolova N. I., Anisimova E. Yu., Grishin V. S., Lazareva E. Yu. The effect of various doses of a new carbohydrate-prebiotic feed additive on hematological parameters and the immunoglobulin profile of broiler chickens. Proceedings of the NV AUC. 2025. No 6 (84). Pp. 306-315.

11. Gorlov I. F., Sozdenkina M. I., Nikolaev D. V., Tserenov I. V., Gromova A. O., Gishlarkaev A. E., Yuldashbaev Yu. A., Magomadov T. A. The effect of lactose-containing feed additives on the meat productivity of Kalmyk chicken sheep and the quality of smoked sausages. Sheep, goats, wool business. 2023. No 2. Pp. 46-51.

12. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolova D. A., Khoroshevskaya L. V. et al. Lac-tulose 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.

13. Gorlov I. F., Skladenkina M. I., Shakhbazova O. P., Radjabov R. G. The effect of new feed additives on the main morpho-biochemical parameters of the blood of chicken broilers. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2024. No 1 (51). Pp. 79-86.

14. Gorlov I. F., Nikolaev D. V., Barmina T. N. et al. The effect of lactose-containing feed additives on productivity, milk quality and immune status of goats. Animal husbandry and feed production. 2022. Vol. 105. No 4. Pp. 89-100.

15. Gorlov I. F., Kalinina N. V., Rudkovskaya A. V. et al. Influence of phosphatides and bischofite on zootechnical parameters, hematological and immune status of Hensex Brown laying hens. Poultry farming. 2023. No 6. Pp. 19-26.

16. Panin V. A. Innovative development of goat breeding in conditions of frequent droughts. Scientific support for innovative agricultural development in conditions of frequent droughts: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Orenburg Scientific Research Institute of Agriculture: Collection of scientific papers, Orenburg: Press Agency LLC, 2017. Pp. 318-324.

17. Gorlov I. F., Shirokova N. V., Slozhenkina M. I. et al. Association of the growth hormone gene polymorphism with growth traits in Salsk sheep breed. Small Ruminant Research. 2017. V. 150. Pp. 11-14.

18. Sanou L., Ouédraogo S., Savadogo P., Bindelle J. et al. Plant biomass and seed production of the legumes Aeschynomeme histrix and Stylosanthes hamata and the potential of endozoochory by cattle and sheep in semi-arid native pastures. Heliyon. 2023. V. 9 (7). Art. e18202.

19. Shakhbazova O. P., Gorlov I. F., Skladenkina M. I., Doroshenko V. B. Biochemical parameters of blood of Kazakh white-headed bull calves of different genotypes. Innovations in food production: from animal breeding to food production technology: proceedings of international scientific and practical conferences, pos. Persianovsky, 2019. Pp. 245-250.

20. Panin V. A. Hematological parameters of Simmental cows and Simmental Holstein hybrids in the Southern Urals. Veterinary medicine and feeding. 2017. No 1. Pp. 14-17.

21. Panin V. A., Kharlamov A. V. Changes in hematological parameters and productivity of goats with age. Perm Agrarian Bulletin. 2024. No 4 (48). Pp. 123-132.

Информация об авторах

Харламов Анатолий Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID orcid.org/0000-0002-9477-6568, e-mail: harlamov52@mail.ru

Панин Виктор Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), ORCID orcid.org/0000-0003-1239-1806, e-mail: oniish@yandex.ru

Authors' Information

Kharlamov Anatoly Vasilyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Department, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, 9 January Str., 29), ORCID orcid.org/0000-0002-9477-6568, e-mail: harlamov52@mail.ru

Panin Viktor Alekseevich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460051, Orenburg, 9 January Str., 29), ORCID orcid.org/0000-0003-1239-1806, e-mail: oniish@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-43

THE EFFECT OF THE BASED ON STARCH POLYSACCHARIDE PREBIOTIC FEED ADDITIVE ON THE LAYING HENS MICROBIOTA COMPOSITION

Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Mosolova N. I., Sova I. A., Tomilenko K. A.

Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 11.05.2026 Submitted 15.07.2026

The work was carried out under the grant of RSF 25-16-00303.

Abstract

Introduction. Modern industrial poultry farming is increasingly focused on the complete elimination of antibiotic growth promoters, in line with international and Russian regulatory requirements, necessitating the development of effective alternatives to maintain gut health and productivity of laying hens. The relevance of this study stems from the need to replace antibiotic growth promoters in commercial poultry production with safe prebiotic feed additives for targeted modulation of the laying hens' gut microbiome. The aim of the study was to evaluate the effect of a prebiotic additive based on starch polysaccharide on the quantitative and taxonomic composition of the microbiota in the ceca of laying hens. **Materials and methods.** At 13 weeks of age, a control group and 3 experimental groups of 12 laying hens each were formed using the peer-to-peer analog method. Analysis of the hens' gut microbial community was conducted at the scientific-production company LLC "Biotrof" in St. Petersburg. **Results.** The control group was characterized by dominance of normal flora (Bacteroides 1.0×10^{12} genomes/g). In the second experimental group, conditionally pathogenic bacteria (E. coli 4.0×10^{7} genomes/g) prevailed alongside high levels of probiotics. **Conclusion.** The prebiotic additive stimulated the growth of immunomodulatory bacteria Lactobacillus spp. (up to 1.0×10^{11} genomes/g) and Bifidobacterium spp. (up to 4.0×10^{11} genomes/g), particularly in the second experimental group, as well as F. prausnitzii (up to 1.0×10^{11} genomes/g) in the third group and A. muciniphila (2.0×10^{6} genomes/g) in the second group, indicating activation of metabolic and protective functions in the gut.

***Keywords*:** *laying hens, laying hen diets, prebiotic feed additives, laying hen intestines, laying hen digestion, and the effectiveness of feed additives.*

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Mosolova N. I., Sova I. A., Tomilenko K. A. The effect of the based on starch polysaccharide prebiotic feed additive on the laying hens microbiota composition. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 388-394 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-43.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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. All authors declared no conflicts of interest.

УДК 636.5.034.087

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕБИОТИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛЬНОГО ПОЛИСАХАРИДА НА СОСТАВ МИКРОБИОТЫ КУР-НЕСУШЕК

Сложенкина М. И., *доктор биологических наук, член-корреспондент РАН*
Горлов И. Ф., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
Мосолов А. А., *доктор биологических наук, главный научный сотрудник*
Мосолова Н. И., *доктор биологических наук, главный научный сотрудник*
Сова И. А., *лаборант-исследователь*
Томиленко К. А., *лаборант-исследователь*

ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 25-16-00303, ГНУ НИИММП.

Актуальность. Современное промышленное птицеводство всё больше ориентируется на полный отказ от антибиотиков роста в соответствии с международными и российскими нормативными требованиями, что требует разработки эффективных альтернатив для поддержания здоровья кишечника и продуктивности кур-несушек. Актуальность исследования обусловлена необходимостью замены антибиотиков роста в промышленном птицеводстве безопасными пребиотическими кормовыми добавками для целенаправленной модуляции кишечного микробиома кур-несушек. Цель работы – оценить влияние пребиотической добавки на основе крахмального полисахарида на количественный и видовой состав микробиоты слепых отростков кур-несушек. **Материалы и методы.** В возрасте 13 недель по методу пар-аналогов была сформирована контрольная и 3 опытные группы кур-несушек по 12 голов в каждой. Анализ микробного сообщества кишечника кур был проведен в научно-производственной компании ООО «Биотроф» (г. Санкт-Петербург). **Результаты.** Контрольная группа отличалась доминированием нормофлоры (Bacteroides $1{,}0\times10^{12}$ геномов/г). Во II опытной группе преобладали условно-патогенные бактерии (E. coli $4{,}0\times10^{7}$ геномов/г) при высоком содержании пробиотиков. **Вывод.** Пребиотическая добавка стимулировала рост иммуномодулирующих бактерий Lactobacillus spp. (до $1{,}0\times10^{11}$ геномов/г) и Bifidobacterium spp. (до $4{,}0\times10^{11}$ геномов/г), особенно во II опытной группе, а также F. prausnitzii (до $1{,}0\times10^{11}$ геномов/г) в III группе и A. Muciniphila ($2{,}0\times10^{6}$ геномов/г) во II группе, что свидетельствует об активизации метаболических и защитных функций кишечника.

***Ключевые слова*:** *куры-несушки, рационы кур-несушек, пребиотические кормовые добавки, кишечник кур-несушек, пищеварение кур-несушек, эффективность кормовых добавок.*

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Мосолова Н. И., Сова И. А., Томиленко К. А. Эффективность воздействия пребиотической кормовой добавки на основе крахмального полисахарида на состав микробиоты кур-несушек. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 388-394 DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-43.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Кишечный микробиом птицы определяет эффективность пищеварительных процессов, иммунной защиты и общей продуктивности, поскольку влияет на усвоение питательных веществ, устойчивость к патогенам и состояние кишечника [2, 4]. У кур-несушек формирование микробиоты происходит в ранние периоды жизни и зависит от условий содержания и применяемых кормовых добавок. Нормальная кишечная микрофлора у птиц отличается разнообразием как по видовому составу, так и по численности микроорганизмов; она обеспечива-

ет расщепление сложных полисахаридов и белков, синтез витаминов, образование питательных веществ, стимулирует рост кишечных ворсинок для увеличения площади всасывания, поддерживая тем самым биохимический, метаболический и иммунный гомеостаз, необходимый для здоровья животных [10, 11]. Анализ генетического разнообразия кишечной микробиоты является ключевым методом разработки инновационных биотехнологий, включая кормовые добавки и препараты для нормализации микробиоценоза [1, 9]. Для нормализации состава кишечной микрофлоры широкое применение находят пробиотики, пребиотики и другие биологически активные кормовые добавки [3, 12].

Современное промышленное птицеводство всё больше переходит на производство без использования антибиотиков и ищет альтернативные способы поддержания здоровья кишечника и репродуктивной способности птицы. В этих условиях возрастают требования к кормовым добавкам, направленным на регуляцию микробиома, в первую очередь к пребиотикам – неперевариваемым компонентам рациона, которые избирательно стимулируют рост и активность полезных микроорганизмов, таких как лактобациллы, бифидобактерии и ряд других групп [2, 5, 6]. Пребиотические кормовые добавки, в том числе на основе полисахаридов, рассматриваются как перспективная альтернатива антибиотикам роста, способная влиять на состав микробиоценозов, укреплять барьерную функцию кишечника и повышать продуктивность птицы [2, 6].

Крахмальные полисахариды обладают выраженными пребиотическими свойствами, выступая в качестве субстрата для ферментации в толстой кишке и способствуя образованию короткоцепочечных жирных кислот (ацетата, пропионата, бутирата), положительно влияющих на метаболизм и иммунную систему. В птицеводческой практике установлено, что введение пребиотиков в корм способствует росту полезной микрофлоры и уменьшению численности патогенных и нежелательных микроорганизмов в кишечнике кур [7, 8].

Крахмальные полисахариды, в том числе резистентный крахмал и его производные, рассматриваются как перспективные пребиотики для птицы благодаря их устойчивости к перевариванию в верхних отделах желудочно-кишечного тракта и способности ферментироваться в слепых отростках и толстом кишечнике. В ходе ферментации образуются короткоцепочечные жирные кислоты (ацетат, пропионат, бутират), которые усиливают барьерную функцию кишечника, угнетают рост патогенных бактерий и положительно влияют на обмен веществ и иммунную систему [7].

В связи с этим, цель настоящего исследования заключается в изучении и оценке влияния пребиотической кормовой добавки из крахмального полисахарида на состав микробиома кур-несушек.

Материалы и методы. Исследование проводилось на базе ООО «Агрофирма Обломово» Светлоярского района Волгоградской области. В качестве объектов исследования использовали кур-несушек кросса Хайсекс Браун в возрасте с 90 до 182 дней. Продолжительность эксперимента составила 92 дня. Поголовье опытных групп содержалось напольным методом с круглосуточным доступом к воде и корму.

По методу пар аналогов была сформирована контрольная и 3 опытные группы по 12 голов в каждой. Контрольная группа потребляла стандартный рацион, без ввода пребиотика. Птице I опытной группы скармливали комбикорм с добавлением крахмального полисахарида (КП) в количестве 2 г на голову в сутки. Птице II опытной группы давали аналогичный рацион, обогащенный КП в количестве 4 г на голову в сутки. Птицу III опытной группы обеспечивали тем же рационом, но дополнительно содержащим 6 г КП на голову в сутки.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experimental scheme

Показатель / Indicator	Значение показателей по группам животных / Values of indicators by groups of animals			
	контрольная / control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
Количество голов / Number of birds	12	12	12	12
Количество добавки в структуре рациона, кг/т / Amount of additive in the diet structure, kg/t	-	20	40	60
Расход ИМО за период опыта, г / IMO consumption during the experimental period, g	-	2208	4416	6624

Ежедневно фиксировали расход корма, сохранность поголовья и яичную продуктивность. По завершении эксперимента по 3 особи из контрольной и опытных групп подвергли эвтаназии. Слепые отростки кишечника отобрали и отправили на анализ в лабораторию научно-производственной компании ООО «Биотроф» (г. Санкт-Петербург). Для оценки численности и состава кишечной микрофлоры было проведено исследование с применением молекулярно-генетической методики NGS-секвенирования.

В составе исследованных проб была выявлена высокая концентрация представителей нормальной микрофлоры кишечника птицы, однако вместе с тем во всех пробах были также выявлены представители условно-патогенной микрофлоры. Среди представителей нормальной микрофлоры кишечника были обнаружены бактерии с целлюлозолитической активностью, бактерии-антагонисты возбудителей заболеваний и прочие симбиотические формы.

Во всех образцах были выявлены представители рода Bacteroides и представители вида Roseburia inulinivorans, которые отличаются целлюлозолитической и амилолитической активностью. В наибольшей концентрации они были представлены в контрольной группе: $1{,}0\times10^{12}$ геномов/г, и $3{,}0\times10^{7}$ геномов/г соответственно (таблица 2).

Таблица 2 – Среднее содержание нормофлоры слепых отростков кур-несушек контрольной и опытных групп (геномов/г)
Table 2 – Average content of normal flora in the caecum of laying hens in the control and experimental groups (genomes/g)

Категории микроорганизмов: / Categories of microorganisms:	Контроль / Control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
Род Blautia spp / Genus Blautia spp	$4{,}0\times10^{9}$	$6{,}0\times10^{9}$	$1{,}0\times10^{10}$	$5{,}0\times10^{9}$
Род Bacteroides spp / Genus Bacteroides spp	$1{,}0\times10^{12}$	$4{,}0\times10^{11}$	$4{,}0\times10^{11}$	$2{,}0\times10^{11}$
Род Ruminococcus spp / Genus Ruminococcus spp	$3{,}0\times10^{7}$	$2{,}0\times10^{8}$	$2{,}0\times10^{8}$	<п.д.о / l.r.d.
Вид Roseburia inulinivorans / Species Roseburia inulinivorans	$3{,}0\times10^{7}$	$2{,}0\times10^{7}$	$7{,}0\times10^{6}$	$4{,}0\times10^{6}$
Род Bifidobacterium spp / Genus Bifidobacterium spp	$1{,}0\times10^{11}$	$1{,}0\times10^{11}$	$4{,}0\times10^{11}$	$1{,}0\times10^{11}$
Вид Faecalibacterium prausnitzii / Species Faecalibacterium prausnitzii	$8{,}0\times10^{10}$	$5{,}0\times10^{10}$	$4{,}0\times10^{10}$	$1{,}0\times10^{11}$
Вид Akkermansia muciniphila / Species Akkermansia muciniphila	<п.д.о / l.r.d.	<п.д.о / l.r.d.	$2{,}0\times10^{6}$	<п.д.о / l.r.d.
Вид Methanosphaera stadmanae / Species Methanosphaera stadmanae	$8{,}0\times10^{6}$	$2{,}0\times10^{6}$	$7{,}0\times10^{6}$	$3{,}0\times10^{5}$
Род Lactobacillus spp / Genus Lactobacillus spp	$6{,}0\times10^{10}$	$1{,}0\times10^{11}$	$7{,}0\times10^{10}$	$2{,}0\times10^{10}$

Примечание: * < п.д.о. – ниже предела достоверного обнаружения.
Note: * < l.r.d. – below the limit of reliable detection.

Кроме этого, в образцах в высокой концентрации были выявлены бактерии-антагонисты патогенов, в том числе Lactobacillus и Bifidobacterium, которые обладают иммуномодулирующей и антимикробной активностью, а также способны синтезировать витамины и некоторые незаменимые аминокислоты. Содержание бифидобактерий и лактобактерий в пробах было высоким, особенно во второй группе, где оно в среднем составило $4{,}0\times10^{11}$ геномов/г и $1{,}0\times10^{11}$ геномов/г соответственно.

Помимо этого, в образцах в высокой концентрации были выявлены микроорганизмы вида Faecalibacterium prausnitzii (в среднем до $1{,}0\times10^{11}$ геномов/г в третьей группе), являющиеся важными продуцентами бутирата и летучих жирных кислот. Высокая концентрация Faecalibacterium prausnitzii в исследованных образцах указывает на активное участие этих бактерий в процессах пищеварения и метаболизма в кишечнике птицы. Это свидетельствует о хорошем состоянии микрофлоры и способности организма справляться с различными воздействиями внешней среды.

Во второй опытной группе были обнаружены бактерии Akkermansia muciniphila в концентрации $2{,}0\times10^{6}$ геномов/г. В последнее время большое внимание уделяется кишечной бактерии Akkermansia muciniphila, которая играет важную роль в системном метаболизме, здоровье кишечника и иммунной регуляции. Существуют данные о том, что A. muciniphila улучшает метаболическую функцию и модулирует иммунную систему.

Таблица 3 – Среднее содержание условно-патогенной и нежелательной микрофлоры слепых отростков кур-несушек контрольной и опытных групп (геномов/г)
Table 3 – Average content of conditionally pathogenic and undesirable microflora in the blind processes of laying hens in the control and experimental groups (genomes/g)

Категории микроорганизмов: / Categories of microorganisms:	Контроль / Control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
Род Acinetobacter spp / Genus Acinetobacter spp	<п.д.о / l.r.d.	<п.д.о / l.r.d.	$5{,}0\times10^{6}$	$2{,}0\times10^{7}$
Род Enterobacter spp / Genus Enterobacter spp	$3{,}0\times10^{5}$	$3{,}0\times10^{5}$	<п.д.о	<п.д.о / l.r.d.
Вид Escherichia coli / Species Escherichia coli	$3{,}0\times10^{6}$	$9{,}0\times10^{6}$	$4{,}0\times10^{7}$	$7{,}0\times10^{6}$
Род Streptococcus spp / Genus Streptococcus spp	<п.д.о / l.r.d.	$2{,}0\times10^{6}$	$3{,}0\times10^{5}$	<п.д.о / l.r.d.
Энтеропатогенная E. coli / Enteropathogenic E. coli	<п.д.о / l.r.d.	$1{,}0\times10^{3}$	<п.д.о / l.r.d.	<п.д.о / l.r.d.
Род Candida spp / Genus Candida spp	$2{,}0\times10^{7}$	$2{,}0\times10^{7}$	$1{,}0\times10^{6}$	$1{,}0\times10^{6}$

Примечание: * < п.д.о. – ниже предела достоверного обнаружения.
Note: * < l.r.d. – below the limit of reliable detection.

Следует отметить, что были обнаружены условно-патогенные бактерии, такие как Escherichia coli и Acinetobacter, которые при стрессовых факторах могут быть связаны с риском развития заболеваний у птиц. Escherichia coli обнаружена во всех группах, с наибольшим средним содержанием во второй опытной группе ($4{,}0\times10^{7}$ геномов/г). Acinetobacter spp. выявлены в третьей группе ($2{,}0\times10^{7}$ геномов/г) и второй группе ($5{,}0\times10^{6}$ геномов/г).

Во всех группах образцов были обнаружены грибки рода Candida; наибольшее среднее количество, равное $2{,}0\times10^{7}$ геномов/г, детектировано в первой группе. В норме они могут присутствовать на слизистых оболочках у птиц, но могут быть источником кандидамикоза при сниженном иммунитете.

Во II и III опытных группах выявлены бактерии рода Streptococcus в средней концентрации $8{,}0\times10^{5}$ геномов/г. Данные микроорганизмы способны вызывать инфекции у птиц разных возрастных групп, адаптируясь к механизмам иммунной защиты. Кроме того, в одном из образцов II группы обнаружена энтеропатогенная E. coli в количестве $3{,}0\times10^{3}$ геномов/г.

Заключение. На основании полученных данных можно сделать вывод, что наибольшее содержание бактерий, относящихся к нормофлоре, было обнаружено в образцах из контрольной группы. Количество бактерий рода Bacteroides в контрольной группе было самым высоким ($1{,}0\times10^{12}$ геномов/г). Условно-патогенные бактерии преобладали во второй опытной группе, в ней содержание Escherichia coli достигло $4{,}0\times10^{7}$ геномов/г.

Пребиотическая кормовая добавка на основе крахмального полисахарида стимулировала рост полезной микрофлоры (Lactobacillus spp., Bifidobacterium spp., Faecalibacterium prausnitzii, Akkermansia muciniphila), однако при определённых дозировках (II группа) это сопровождалось повышенной обсеменённостью условно-патогенными формами (E. coli, Acinetobacter spp., Streptococcus spp.), что требует дальнейшей оптимизации режимов применения для достижения устойчивой нормализации микробиоценоза кур-несушек.

Conclusion. Based on the data obtained, it can be concluded that the highest content of bacteria related to the norm-flora was found in samples from the control group. The number of bacteria from the genus Bacteroides in the control group was the highest (1.0×1012 genomes/g). Conditionally pathogenic bacteria prevailed in the second experimental group, in which the content of Escherichia coli reached 4.0×10^{7} genomes/g.

A prebiotic feed additive based on starch polysaccharide stimulated the growth of beneficial microflora (Lactobacillus spp., Bifidobacterium spp., Faecalibacterium prausnitzii, Akkermansia muciniphila), however, at certain dosages (group II) it was accompanied by increased contamination with opportunistic forms (E. coli, Acinetobacter spp., Streptococcus spp.), which requires further optimization of modes applications for achieving sustainable normalization of the micro biocenosis of laying hens.

Библиографический список

1. Берлинский Ю. Р., Мерзленко Р. А. Влияние фитобиотика «Гербастор» на состав кишечной микрофлоры у кур-несушек. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2.

2. Сложенкина М. И. и др. Влияние новой пребиотической кормовой добавки на основе крахмального полисахарида на молочную продуктивность и качественные показатели получаемой продукции. Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 144-155.

3. Скворцова Е. Г. и др. Влияние микробиологического препарата ЭМ-курунга на некоторые показатели жизнедеятельности цыплят. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 6 (80). С. 297-300.

4. Горковенко Н. Е., Алферов Д. О., Шевченко А. Н. Изучение влияния кормовой добавки на микробиом кишечника кур-несушек. Ветеринария Северного Кавказа. 2023. № 8.

5. Горлов И. Ф. и др. Влияние пребиотической кормовой добавки на физиологические, продуктивные показатели и состав микробиома кишечника кур-несушек кросса Хайсекс Браун. Известия НВ АУК. 2024. № 2 (74).

6. Кочиш И. И., Мясникова О. В., Мартынов В. В., Смоленский В. И. Микрофлора кишечника кур и экспрессия связанных с иммунитетом генов под влиянием пробиотической и пребиотической кормовых. Сельскохозяйственная биология. 2020. № 2.

7. Кочиш И. И., Мясникова О. В., Мотин М. С. Влияние кормовых добавок отечественного производства на здоровье кишечника кур. Аграрная наука. 2024. № 12. С. 58-63.

8. Пешкова М. А. и др. Перспективы модуляции микробиома при аутоиммунных заболеваниях: обзор литературы. Сеченовский вестник. 2024. № 1.

9. Прасолова О. В. и др. Современные молекулярно-генетические технологии для формирования перечня представителей нормальной микрофлоры птицы. Международный вестник ветеринарии. 2022. № 4. С. 203-210.

10. Стрельникова И. И., Кислицына Н. А. Эффективность применения фитобиотиков в птицеводстве. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2020. Т. 6. № 4. С. 433-444.

11. Тараканов Б. В. Механизм действия пробиотиков на микрофлору пищеварительного тракта и организм животных. Ветеринария. 2000. № 1. С. 47-54.

12. Филинская О. В. и др. Физико-химический состав мяса цыплят-бройлеров при использовании пробиотика "Яросил". Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 4 (56). С. 52-56.

References

1. Berlinsky Yu. R., Merzlenko R. A. The effect of the phytobiotic "Gerbastor" on the composition of the intestinal microflora in laying hens. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2023. No 2.

2. Slozhenkina M. I. et al. The effect of a new prebiotic feed additive based on starch polysaccharide on milk productivity and the quality of the resulting products. Animal Husbandry and Feed Production. 2024. V. 107. No 4. Pp. 144-155.

3. Skvortsova E. G. et al. Influence of the microbiological preparation EM-kurunga on some indicators of the vital activity of chickens. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2019. No 6 (80). Pp. 297-300.

4. Gorkovenko N. E., Alferov D. O., Shevchenko A. N. Study of the effect of a feed additive on the intestinal microbiome of laying hens. Veterinary Medicine of the North Caucasus. 2023. No 8.

5. Gorlov I. F. et al. Influence of a prebiotic feed additive on the physiological, productive indicators and composition of the intestinal microbiome of laying hens of the Hysex Brown cross. Proceedings of the NV AUC. 2024. No 2 (74).

6. Kochish I. I., Myasnikova O. V., Martynov V. V., Smolensky V. I. Intestinal microflora of chickens and expression of immunity-related genes under the influence of probiotic and prebiotic feed additives. Agricultural Biology. 2020. No 2.

7. Kochish I. I., Myasnikova O. V., Motin M. S. The effect of domestically produced feed additives on the health of the chicken's intestines. Agrarian Science. 2024. No 12. Pp. 58-63.

8. Peshkova M. A. et al. Prospects for microbiome modulation in autoimmune diseases: a review of literature. Sechenov Bulletin. 2024. No 1.

9. Prasolova O. V. et al. Modern molecular and genetic technologies for the formation of a list of representatives of the normal microflora of poultry. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2022. No 4. Pp. 203-210.

10. Strelnikova I. I., Kislitsyna N. A. The effectiveness of the use of phytbiotics in poultry farming. Bulletin of the Mari State University. Series "Agricultural Sciences. Economic Sciences". 2020. Vol. 6. No 4. Pp. 433-444.

11. Tarakanov B. V. Mechanism of action of probiotics on the microflora of the digestive tract and the animal organism. Veterinariya. 2000. No 1. Pp. 47-54.

12. Filinskaya O. V. et al. Physicochemical composition of broiler chicken meat when using the probiotic "Yarosil". Proceedings of the Agro-industrial complex of the Upper Volga region. 2021. No 4 (56). Pp. 52-56.

Информация об авторах

Сложенкина Марина Ивановна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), 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. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-4927-7065, e-mail: niimmp@mail.ru

Мосолова Наталья Ивановна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9542-5893; e-mail: niimmp@mail.ru

Сова Ирина Алексеевна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», 400066, (Россия, Волгоградская область, г. Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0002-5072-387, e-mail: irisha.sova.01@mail.ru

Томиленко Ксения Андреевна, лаборант-исследователь, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0009-0000-0960-5610, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Professor of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru
Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru
Mosolov Aleksander Anatolyevich, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0000-0002-4927-7065, e-mail: niimmp@mail.ru
Mosolova Natalya Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru
Sova Irina Alekseevna, Laboratory Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0009-0002-5072-387, e-mail: irisha.sova.01@mail.ru
Tomilenko Ksenia Andreevna, Laboratory Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0009-0000-0960-5610, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-44

THE MICROBIAL SYNTHESIS' PROTEIN EFFECT ON THE JUVENILE STERLET (ACIPENSER RUTHENUS) PRODUCTIVE INDICATORS

[1]Agapova V. N., [2]Zabelina M. V., [1]Agapov S. Yu., [3]Fomin V. S., [2]Ursu R. V.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation
[3]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: 55avn5@mail.ru

Received 29.06.2026 Submitted 24.07.2026

Summary

The results of research conducted in the conditions of the basin workshop of the center "Breeding of valuable sturgeon breeds" on the territory of Volgograd Agrarian University on the effect of the Innoprin, a product of microbial origin introduced into the feed for juvenile sterlet in a percentage ratio of 5, 10, 15 %, indicate the highest indicators of live weight, absolute and the average daily increase. It was also found that representatives of the experimental groups who received Innoprin diets had the highest survival rate, as well as the lowest amount of feed consumed per unit of live weight.

Abstract

Introduction. The use of microbial synthesis protein in feeding juvenile sturgeon fish makes it possible to increase the economic efficiency of fish farming enterprises by reducing the input of expensive components of animal origin. The purpose of the study is to study the effect of the microbial synthesis product on the productive performance of juvenile sterlet. **Object.** The object of the study is a juvenile sterlet (Acipenser ruthenus). **Materials and methods.** The experience of studying the effect of microbial synthesis protein on the growth and development of juvenile sterlet was carried out in the conditions of the center "Breeding of valuable Sturgeon breeds" of the Volgograd State Agrarian University. 4 groups were formed – 3 experimental groups in which Innoprin, a product of microbial origin, was introduced into the diet, as well as a control group that received a household ration. To study the effects of an alternative protein, a comprehensive assessment of growth characteristics, determination of the feed coefficient and survival rate of juvenile sturgeons were carried out. **Results and conclusions.** The content of bacterial protein in starter feeds for juvenile sturgeon of the experimental groups in volumes of 5, 10 and 15 % of the total amount of fish meal contributes to the greatest increase in productive indicators, such as: live weight; absolute and average daily increase in relation to the indicators of the control group by (1.71 %, 4.0 % and 6.29 %); (1.75 %, 4.08 % and 6.41 %) and (2.82 %, 4.23 % and 7.04 %), respectively. It was found that the indicators of the feed coefficient were lower in the 4th, 3rd and 2nd experimental groups by 0.11, 0.08 and 0.03 in comparison with the same indicator of the control group. It was noted that the survival rate of experimental sterlet individuals in the fourth, third and second experimental groups improved by 2.89, 1.93 and 0.53 percentage points relative to control. The use of microbial synthesis protein in recipes for juvenile sturgeon opens up new prospects for the development of sustainable and cost-effective sturgeon farming.

Keywords: *juvenile sterlet, productive indicators of sterlet, live weight of sterlet, feed conversion ratio, microbial synthesis product, "Innoprin".*

Citation. Agapova V. N., Zabelina M. V., Agapov S. Yu., Fomin V. S., Ursu R. V. The microbial synthesis' protein effect on the juvenile sterlet (Acipenser ruthenus) productive indicators. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 394-401 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-44.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' contribution. The team of authors working on this study made a direct contribution to the planning, execution and analytical processing of the results obtained. The co-authors of the submitted article reviewed and approved the proposed final version.
Conflict of interest. The authors claim that there is no conflict of interest.

УДК 639.3.043+636.085.13

ВЛИЯНИЕ БЕЛКА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НА ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ (ACIPENSER RUTHENUS)

[1]Агапова В. Н., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
[2]Забелина М. В., *доктор биологических наук, профессор*
[1]Агапов С. Ю., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
[3]Фомин В. С.
[2]Урсу Р. В., *аспирант*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова
г. Саратов, Российская Федерация
[3]ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Применение белка микробного синтеза в кормлении молоди осетровых рыб позволяет повысить экономическую эффективность рыбоводных предприятий за счет снижения доли дорогостоящих компонентов животного происхождения. Цель исследования – изучение влияния продукта микробиального синтеза на продуктивные показатели молоди стерляди. Объект исследования – молодь стерляди (Acipenser ruthenus). **Материалы и методы.** Опыт по изучению влияния белка микробного синтеза на показатели роста и развития молоди стерляди осуществлялся в условиях центра «Разведение ценных пород осетровых» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». Были сформированы 4 группы: 3 опытные в рацион которых вводился «Инноприн» – продукт микробиального происхождения, а также 1 контрольная группа, получавшая хозяйственный рацион. Для изучения воздействия альтернативного протеина была проведена комплексная оценка ростовых характеристик, определение кормового коэффициента и выживаемости молоди осетровых. **Результаты и выводы.** Содержание бактериального протеина в стартовых кормах для молоди осетровых опытных групп в объемах 5, 10 и 15 % от общего количества рыбной муки способствует наибольшему приросту продуктивных показателей, таких как живая масса, абсолютный и среднесуточный прирост, по отношению к показателям контрольной группы на (1,71 %, 4,0 % и 6,29 %); (1,75 %, 4,08 % и 6,41 %) и (2,82 %, 4,23 % и 7,04 %), соответственно. Установлено, что показатели кормового коэффициента были ниже в 4-й, 3-й и 2-й опытных группах на 0,11, 0,08 и 0,03 в сравнении с аналогичным показателем контрольной группы. Отмечено, улучшение выживаемости подопытных особей стерляди в четвертой, третьей и второй опытных группах на 2,89, 1,93 и 0,53 процентных пункта по отношению к контролю. Применение белка микробиального синтеза в рецептах для молоди осетровых открывает новые перспективы для развития устойчивого и экономически эффективного осетроводства.

Ключевые слова: *молодь стерляди, продуктивные показатели стерляди, живая масса стерляди, кормовой коэффициент, продукт микробиального синтеза, «Инноприн».*

Цитирование. Агапова В. Н., Забелина М. В., Агапов С. Ю., Фомин В. С., Урсу Р. В. Влияние белка микробиального синтеза на продуктивные показатели молоди стерляди (Acipenser ruthenus). *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 394-401. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-44.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Коллектив авторов, работающих над данным исследованием, произвел непосредственный вклад в планирование, выполнение и аналитическую обработку полученных результатов. Соавторы представленной статьи ознакомились и утвердили предложенную итоговую версию.
Конфликт интересов. Авторы утверждают, что столкновение интересов отсутствует.

Введение. Одной из стратегически важных задач развития аквакультуры Российской Федерации является создание конкурентоспособных кормовых решений, обеспечивающих импортонезависимость отрасли. Решение данной задачи имеет не только экономическое, но и продовольственное значение, поскольку стабильное производство кормов отечественного производства напрямую влияет на рентабельность рыбоводных хозяйств и объёмы выпускаемой продукции.

Осетроводство, как традиционно значимое направление отечественного рыбохозяйственного комплекса, требует особого внимания к вопросам кормления, особенно на критически важных этапах раннего онтогенеза. Именно в этот период закладывается здоровье, резистентность и будущая продуктивность рыб, что делает качество стартовых и продукционных кормов определяющим фактором успешного выращивания товарной продукции.

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост объемов товарного выращивания осетровых видов в условиях аквакультуры. Увеличение мирового спроса на деликатесную рыбную продукцию – чёрную икру и высококачественное мясо осетровых – стимулирует развитие индустриальных форм рыбоводства, включая садковые хозяйства и установки замкнутого водоснабжения (УЗВ). Однако существующие технологии кормления, основанные преимущественно на использовании рыбной муки, сталкиваются с рядом системных ограничений, включая волатильность цен на мировом рынке, экологические проблемы перелова кормовых видов рыб и необходимость повышения экономической эффективности производства [6, 7, 10]. Кроме того, качество импортной рыбной муки часто нестабильно, что затрудняет стандартизацию кормов и негативно сказывается на продуктивных показателях рыб [5, 8].

Особую актуальность приобретает разработка стартовых комбикормов, поскольку именно на ранних стадиях развития осетровых рыб формируется фундамент для последующего продукционного потенциала [1, 4, 12]. Физиологические особенности молоди, включая неполное развитие пищеварительной системы и высокую потребность в легкоусвояемых белках, требуют особого подхода к составлению рецептур [2, 11]. Применение микробного белка в стартовых кормах открывает новые возможности для оптимизации аминокислотного состава и повышения биологической доступности питательных веществ.

С точки зрения импортозамещения, развитие технологий производства кормов на основе отечественного микробного белка приобретает стратегическое значение. В условиях сокращения мировых запасов рыбной муки и роста цен на импортные белковые ингредиенты создание собственной сырьевой базы для производства высокобелковых кормовых добавок становится одним из ключевых факторов обеспечения продовольственной независимости аквакультурного сектора. Российская Федерация обладает значительным научно-техническим потенциалом в области микробиологического синтеза, что создает предпосылки для формирования полного цикла производства кормовых ингредиентов – от селекции продуктивных штаммов микроорганизмов до выпуска готовых кормовых продуктов, адаптированных к потребностям различных видов гидробионтов.

Внедрение микробного белка в кормопроизводство открывает возможности для диверсификации источников сырья, снижая зависимость от импортных поставок и смягчая последствия геополитических рисков. Учитывая, что осетровые и лососевые виды предъявляют повышенные требования к качеству протеина, разработка кормов с использованием бактериальной биомассы, обогащенной незаменимыми аминокислотами, позволяет обеспечить полноценное питание рыб на всех этапах выращивания. В долгосрочной перспективе это способствует не только импортозамещению, но и повышению конкурентоспособности отечественной аквакультуры на мировом рынке, создавая основу для устойчивого роста отрасли и укрепления продовольственной безопасности страны [3, 9, 10].

Цель работы – изучить влияние кормов с использованием белка микробиологического синтеза «Инноприна» на продуктивные показатели молоди осетровых видов рыб.

Материалы и методы. Исследования проводились на базе научно-исследовательского центра «Разведение ценных пород осетровых» при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет». Длительность эксперимента составила 24 дня.

Для комплексной оценки ростовых характеристик использовали систему взаимодополняющих показателей: абсолютный прирост массы тела, удельную скорость роста. Эффективность кормления оценивали через показатель затрат корма, определяемый как отношение общего количества потребленного корма к приросту биомассы за весь период

наблюдений. Выживаемость молоди – выражали в процентном отношении количества сохранившихся особей к исходному количеству посадочного материала. Полученный экспериментальный материал подвергали комплексной статистической обработке с применением современных методов вариационной статистики.

Для оценки эффективности частичной замены рыбной муки на белковый продукт микробиологического синтеза – «Инноприн» (производства ООО «Биопрактика») были разработаны четыре экспериментальных варианта кормосмесей. В исследуемых рецептурах доля замещения рыбной муки составила 5 %, 10 % и 15 % соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта по использованию белка микробного синтеза в кормлении молоди стерляди
Table 1 – Scheme of experience on the use of microbial synthesis protein in feeding juvenile sterlet

Группа / Group	Количество рыб в группе, n / Number of fish in the group, n	Особенности кормления / Feeding characteristics
1-я контрольная / control 1	4500	Рыбная мука / Fish meal
2-я опытная / experimental group 2	4500	Замена 5 % рыбной муки белком микробного синтеза / Replacement of 5 % fish meal with microbial synthesis protein
3-я опытная / experimental group 3	4500	Замена 10 % рыбной муки белком микробного синтеза / Replacement of 10 % fish meal with microbial synthesis protein
4-я опытная / experimental group 4	4500	Замена 15 % рыбной муки белком микробного синтеза / Replacement of 15 % fish meal with microbial synthesis protein

Результаты и обсуждение. Исследования на подопытной молоди стерляди проводились в Центре разведения ценных пород осетровых ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. Корма для молоди осетровых были произведены Волгоградской компанией ООО «Инновация» из ингредиентов отечественного производства (таблица 2).

Таблица 2 – Рецепт экспериментальных кормов для молоди стерляди, %
Table 2 – Recipe of experimental feeds for juvenile sterlet, %

Ингредиенты, % / Ingredients, %	Группы / Groups			
	1-я контрольная / Control 1	2-я опытная / Experimental 2	3-я опытная / Experimental 3	4-я опытная / Experimental 4
Пшеница / Wheat	6,00 %	6,00 %	6,00 %	6,00 %
Глютен / Gluten	8,00 %	8,00 %	8,00 %	8,00 %
Крилевая мука / Krill meal	8,00 %	8,00 %	8,00 %	8,00 %
Рыбная мука (СП-67%, Ж-13 %) / Fish meal (SP-67%, F-13 %)	55,00 %	50,00 %	45,00 %	40,00 %
Инноприн / Innoprin	-	5,00 %	10,00 %	15,00 %
Спирулина / Spirulina	2,00 %	2,00 %	2,00 %	2,00 %
Казеин / Casein	5,00 %	5,00 %	5,00 %	5,00 %
Подсолнечниковый (соевый) лецитин / Sunflower (soybean) lecithin	3,00 %	3,00 %	3,00 %	3,00 %
Меланж (яичный порошок) / Egg powder	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Диатомит / Diatomite	3,00 %	3,00 %	3,00 %	3,00 %
Рыбий жир / Fish oil	3,00 %	3,00 %	3,00 %	3,00 %
Бетаин / Betaine	1,00 %	1,00 %	1,00 %	1,00 %
Лигнин / Lignin	0,50 %	0,50 %	0,50 %	0,50 %
Премикс / Premix	1,50 %	1,50 %	1,50 %	1,50 %

Для начала проведения исследования был изучен химический состав экспериментальных кормов для молоди осетровых рыб с включением белка микробиологического синтеза, что выявило планомерную модификацию нутритивного профиля по мере увеличения доли альтернативного протеина.

В контрольной группе содержание сырого протеина составило 55,39 %, тогда как в опытных рационах наблюдалось последовательное увеличение этого показателя на 0,50 процентных пункта во второй группе (55,89 %), на 1,00 пункт в третьей (56,39 %) и на 1,50 пункта в четвертой группе (56,89 %), что в процентном отношении соответствует росту на 0,90 %, 1,81 % и 2,71 % относительно показателей контрольной группы (рисунок 1).

Уровень содержания сырого жира планомерно снижался с 14,64 % в контрольной группе до 14,19 % в четвертой опытной, с промежуточными значениями 14,49 % и 14,34 % во второй и третьей группах, что указывает на принцип изокалорийной замены липидного компонента белковым (рисунок 1).

Содержание сырой клетчатки во всех группах оставалось стабильным на уровне 0,8 %, что подтверждает неизменность доли балластных веществ и отсутствие корректировки углеводного компонента. Таким образом, все различия в составе опытных кормов были сосредоточены именно в вариации протеина и жира, что обеспечивает надёжную основу для последующего определения оптимальной концентрации белка микробиологического синтеза в рационах для осетровых (рисунок 1).

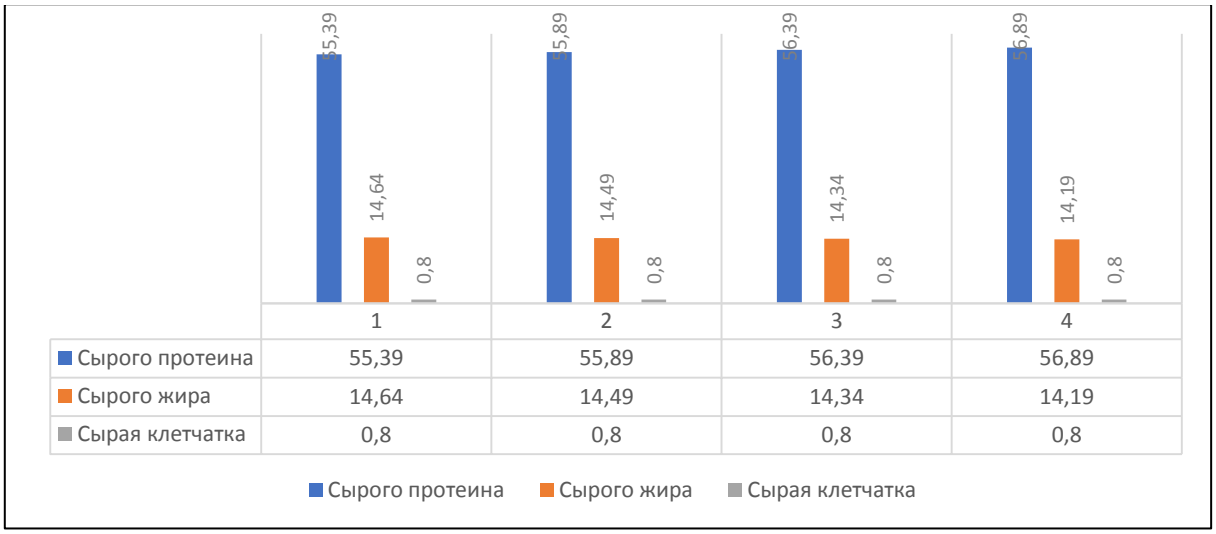


Рисунок 1 – Питательность экспериментальных кормов для молоди стерляди
Figure 1 – Nutritional value of experimental feeds for juvenile sterlet

Анализ показателей выращивания молоди стерляди при включении в состав кормов бактериального белка метанотрофного происхождения выявил значимое влияние протеиновой составляющей на продукционные параметры. В четвертой опытной группе зафиксирована максимальная конечная масса (1,86 г), что на 6,29 % превышает показатель контрольной группы (1,75 г), при этом вторая и третья опытные группы демонстрировали промежуточные значения (1,78 г и 1,82 г соответственно), превышающие контроль на 1,71 % и 4,0 % (таблица 3).

Таблица 3 – Рыбоводно-биологические показатели первого этапа выращивания личинок стерляди в условиях УЗВ
Table 3 – Fish-breeding and biological indicators of the first stage of the cultivation of larvae of sterlet in the conditions of ultrasonic

Показатели / Indicators	Группы / Groups			
	1-я контрольная / control	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3	4-я опытная / experimental 4
Продолжительность опыта, сут. / Duration of the experiment, days	24	24	24	24
Начальная масса, г / Initial weight, g	0,035±0,003	0,035±0,004	0,035±0,0003	0,035±0,005
Конечная масса, г / Final weight, g	1,75±0,041	1,78±0,049	1,82±0,046	1,86±0,061
Абсолютный прирост, г / Absolute weight gain, g	1,715±0,05	1,745±0,06	1,785±0,04	1,825±0,05
Выживаемость, % / Survival rate, %	72,31	72,84	74,24	75,20
Среднесуточный прирост, г / Average daily weight gain, g	0,071	0,073	0,074	0,076
Кормовой коэффициент / Feed conversion ratio	0,92	0,89	0,84	0,81

Абсолютный прирост массы варьировал от 1,715 г в контроле до 1,825 г в четвертой группе, что в процентном отношении составило разницу 6,41 %, отражая выраженный стимулирующий эффект модифицированных рационов (таблица 2).

Среднесуточный прирост в контрольной группе (0,0715 г/сут) оказался на 6,03 % ниже, чем в четвертой опытной (0,0760 г/сут), при этом вторая и третья группы занимали промежуточное положение с превышением контроля на 1,75 % и 4,08 % соответственно, что свидетельствует о дозозависимом характере влияния бактериального белка.

Выживаемость молоди в контрольной группе составила 72,31 %, тогда как в опытных группах наблюдался постепенный рост этого показателя: вторая группа превышала контроль на 0,53 процентных пункта, третья – на 1,93, а четвертая – на 2,89, что может быть связано как с улучшением физиологического состояния рыб, так и с оптимизацией нутритивного баланса корма.

Наиболее существенные различия выявлены в кормовом коэффициенте: в контрольной группе он составил 0,92, тогда как во второй опытной снизился на 0,03, в третьей – на 0,08, а в четвертой – на 0,11, что указывает на повышение эффективности конверсии корма при увеличении доли бактериального протеина (таблица 3).

Выводы. Проведенные исследования убедительно демонстрируют целесообразность включения 5, 10 и 15 % белка микробиологического синтеза «Инноприна» в состав стартовых кормов для молоди осетровых рыб при промышленном выращивании в условиях УЗВ. Замена рыбной муки альтернативным протеином микробного происхождения обеспечивает комплексное улучшение рыбоводно-биологических показателей, включая стимуляцию ростовых процессов, повышение выживаемости и улучшение конверсии корма.

Максимальные значения конечной массы молоди стерляди в четвертой, третьей и второй опытных группах превышали контроль на 6,29 %, 4,0 %, 1,71 % соответственно, что свидетельствует о дозозависимом характере положительного влияния альтернативного протеина.

Улучшение выживаемости подопытных особей стерляди наблюдалось также в четвертой, третьей и второй опытных группах: 2,89, 1,93 и 0,53 процентных пункта по отношению к контролю.

Установлено снижение кормового коэффициента на 0,11, 0,08 и 0,03 в группах с долей бактериального белка 15, 10 и 5 % по сравнению с показателями контрольной группы, что, в свою очередь, подтверждает перспективность его использования для оптимизации нутритивного баланса стартовых кормов.

Оптимизация протеинового состава кормов с использованием современных биотехнологических решений открывает новые перспективы для развития устойчивого и экономически эффективного осетроводства, позволяя сократить зависимость отрасли от традиционных источников животного белка без ущерба для физиологического состояния и продукционных характеристик выращиваемых гидробионтов.

Conclusions. The conducted studies convincingly demonstrate the expediency of including 5, 10, and 15 % of microbiological synthesis protein in starter feeds for juvenile sturgeon during industrial cultivation under UV conditions. Replacing fishmeal with an alternative protein of microbial origin provides a comprehensive improvement in fish-breeding and biological parameters, including stimulation of growth processes, increased survival and improved feed conversion.

The maximum values of the final mass of juvenile sterlet in the fourth, third and second experimental groups exceeded the control by 6.29 %, 4.0 %, 1.71 %, respectively, indicate the dose-dependent nature of the positive effect of the alternative protein.

An improvement in the survival rate of experimental sterlet individuals was also observed in the fourth, third and second experimental groups of 2.89, 1.93 and 0.53 percentage points relative to the control.

It was found that the reduction of the feed coefficient by 0.11, 0.08 and 0.03 in groups with bacterial protein levels of 15, 10 and 5 % compared with the indicators of the control group, which in turn confirms the prospects of its use to optimize the nutritional balance of starter feeds.

Optimization of the protein composition of feed using modern biotechnological solutions opens up new prospects for the development of sustainable and cost-effective sturgeon farming, reducing the industry's dependence on traditional sources of animal protein without compromising the physiological state and production characteristics of farmed aquatic organisms.

Библиографический список

1. Баженов Е. А. и др. Опыт получения пептидов с низкой молекулярной массой из различных видов вторичного рыбного сырья. Известия КГТУ. 2023. № 71. С. 84-101.
2. Кузьмина В. В. Процессы пищеварения у рыб. Новые факты и гипотезы. Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. 2018. 300 с.
3. Лебедева С. Н. и др. Изучение некоторых функциональных характеристик ферментативных гидролизатов пищевых белков. Техника и технология пищевых производств. 2024. № 54 (2). С. 412-422.
4. Мухин В. А., Новиков В. Ю., Рыжикова Л. С. Ферментативный белковый гидролизат из отходов промысла исландского гребешка Chlamys islandica. Прикладная биохимия и микробиология. 2001. Т. 37. № 3. С. 338-343.
5. Неустроев А. П., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В. Технология получения микробного белка из дрожжей. Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 4. С. 209-217.
6. Свириденко Ю. Я. и др. Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Функциональные свойства белковых гидролизатов, зависящие от специфичности протеолитических процессов. Пищевая промышленность. 2017. № 6. Ч. 2.
7. Kolkovski S. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles – implications and applications to formulated diets. Aquaculture. 2001. V. 200. № 1-2. Pp. 181-201.
8. Harnedy P. A., Fitzgerald R. J. Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: review. Journal of Functional Foods. 2012. No 4 (1). Pp. 6-24.
9. Abuhlega Thuraya et al. Biogenic amines in fish: Prevention and reduction. Journal of Food Processing and Preservation. 2022.
10. March E. et al. Protein Nutritive Quality of Commercial Fish Meals as Assessed by Biological and Chemical Methods. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 2011. No 23. Pp. 395-414.
11. Oliva-Teles A. et al. Dietary protein requirements of fish – the meta-analysis. Reviews in Aquaculture. 2019. No 12. Pp. 1445-1477.
12. Hevroy E. et al. Nutrient utilization in Atlantic salmon (Salmo salar L.) fed increased levels of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. Aquaculture Nutrition. 2005. V. 11. Pp. 301-313.

References

1. Bazhenov E. A. et al. The experience of obtaining peptides with low molecular weight from various types of secondary fish raw materials. Proceedings of the KSTU. 2023. No 71. Pp. 84-101.
2. Kuzmina V. V. Digestive processes in fish. New facts and hypotheses. Institute of Biology of Inland Waters named after I. D. Papanin Russian Academy of Sciences, 2018. 300 p.
3. Lebedeva S. N. et al. Study of some functional characteristics of enzymatic hydrolysates of food proteins. Technology and technology of food production. 2024. No 54 (2). Pp. 412-422.
4. Mukhin V. A., Novikov V. Yu., Ryzhikova L. S. Enzymatic protein hydrolysate from the waste of the Icelandic scallop fishery Chlamys islandica. Applied Biochemistry and microbiology. 2001. V. 37. No. 3. Pp. 338-343.
5. Neustroev A. P., Tikhonov S. L., Tikhonova N. V. Technology of obtaining microbial protein from yeast. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2023. V. 17. No. 4. Pp. 209-217
6. Sviridenko Y. Y. et al. Scientific and methodological approaches to the development of protein hydrolysis technology for special nutrition. Part 2. Functional properties of protein hydrolysates, depending on the specificity of proteolytic processes. Food industry. 2017. № 6.
7. Kolkovski S. Digestive enzymes in fish larvae and juveniles – implications and applications to formulated diets. Aquaculture. 2001. V. 200. № 1-2. Pp. 181-201.
8. Harnedy P. A., Fitzgerald R. J. Bioactive peptides from marine processing waste and shellfish: review. Journal of Functional Foods. 2012. No 4 (1). Pp. 6-24.
9. Abuhlega Thuraya et al. Biogenic amines in fish: Prevention and reduction. Journal of Food Processing and Preservation. 2022.
10. March E. et al. Protein Nutritive Quality of Commercial Fish Meals as Assessed by Biological and Chemical Methods. Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 2011. No 23. Pp. 395-414.
11. Oliva-Teles A. et al. Dietary protein requirements of fish – the meta-analysis. Reviews in Aquaculture. 2019. No 12. Pp. 1445-1477.
12. Hevroy E. et al. Nutrient utilization in Atlantic salmon (Salmo salar L.) fed increased levels of fish protein hydrolysate during a period of fast growth. Aquaculture Nutrition. 2005. V. 11. Pp. 301-313.

Информация об авторах

Агапова Василина Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: 55avn5@mail.ru
Забелина Маргарита Васильевна, доктор биологических наук, профессор, Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3).
Агапов Сергей Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru
Фомин Вячеслав Сергеевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6).
Урсу Роман Васильевич, аспирант, Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект им. Петра Столыпина, 4/3).

Authors' Information

Agapova Vasilina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: 55avn5@mail.ru

Zabelina Margarita Vasilyevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, N. I. Vavilov Saratov State Agrarian University (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave, 4/3).
Agapov Sergey Yuryevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: agapov_s_y@mail.ru
Fomin Vyacheslav Sergeevich, junior research assistant, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6).
Ursu Roman Vasilievich, Postgraduate Student, N. I. Vavilov Saratov State Agrarian University (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave, 4/3).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-45

THE VARIOUS LEVELS OF CAMELINA OILCAKE USAGE IN THE DAIRY COWS FEEDING

[1]Zoteev S. V., [1]Nekrasov R. V., [2]Zoteev V. S., [3]Chehranova S. V., [3]Nikolaev S. I., [3]Vorontsova E. S., [3]Vodyannikova V. V., [4]Chernyshkov A.S.

[1]Federal Research Center of Animal Husbandry named after academician L. K. Ernst
Podolsk, Moscow region, Russian Federation
[2]Samara State Agrarian University
Ust-Kinelsky settlement, Samara region, Russian Federation
[3]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[4]Donskoy State Agrarian University
Persianovsky settlement, Rostov Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 14.06.2026 Submitted 25.07.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 05/14/2018. No D/A-2429-18 related: "The effect of using the granular mineral and vitamin complex in cattle diets".

Abstract

Introduction. Providing high-quality protein in cattle diets is essential. Therefore, introducing high-protein oilseed meal into diets has both scientific and practical significance. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of using different levels of camelina oilcake in concentrated feed for dairy cows. **Materials and methods.** A scientific and economic trial was conducted on Holstein dairy cows at one of the livestock farms of EkoNivaAgro LLC in the Voronezh Region. Four experimental groups of 12 cows each were formed using the analogous pair method. The feeding regimen differed in that sunflower meal in the feed for the experimental groups was replaced with camelina oilcake at levels of 50 %, 75 %, and 100 %. During the experiment, the digestibility of nutrients, rumen digestion parameters, and milk productivity were studied. **Results and conclusions.** It was found that the introduction of different levels of camelina oilcake as a replacement for sunflower cake contributed to better digestion of nutrients: dry matter by 0.52-1.04 %, organic matter by 0.59-1.18 %, crude protein by 0.72-1.36 %, crude fiber by 0.39-0.83 %, crude fat by 0.62-0.96 %, and NFE by 0.75-1.27 %. The obtained data on rumen content indicate more optimal digestion processes in cows that were fed different levels of camelina oilcake instead of sunflower cake. Improved digestion processes led to an increase in the productive indicators of cows. Thus, an increase in average daily milk yield by 3.21-4.95 %, milk fat content by 0.04-0.06 %, and protein by 0.01-0.03 % was noted. The best results were observed in the group of cows whose feed was completely substituted with camelina oilcake.

Keywords: *camelina oilcake, concentrated compound feeds, milk productivity of cows, feeding of dairy cows, rumen fermentation in cows.*

Citation. Zoteev S. V., Nekrasov R. V., Zoteev V. S., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V., Chernyshkov A. S. The various levels of camelina oilcake usage in the dairy cows feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 401-408 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-45.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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

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

УДК 636.2.034.087.26

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗНЫХ УРОВНЕЙ РЫЖИКОВОГО ЖМЫХА В КОРМЛЕНИИ ДОЙНЫХ КОРОВ

[1]Зотеев С. В., *кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник*
[1]Некрасов Р. В., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[2]Зотеев В. С., *доктор биологических наук, профессор*
[3]Чехранова С. В., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[3]Николаев С. И., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]Воронцова Е. С., *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник*
[3]Водянникова В. В., *доктор биологических наук, доцент*
[4]Чернышков А. С., *кандидат сельскохозяйственных наук, врио проректора*

[1]Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. акад. Л. К. Эрнста
г. Подольск, Московская область, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет»
п. г. т. Усть-Кинельский, Самарская область, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[4]ФГБОУ ВО Донской ГАУ
пос. Персиановский, Ростовская область, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора от 14.05.2018. No Д/А-2429-18 по теме: "Влияние использования гранулированного минерально-витаминного комплекса в рационах крупного рогатого скота".

Актуальность. Для крупного рогатого скота значение имеет обеспеченность рационов протеином высокого качества. В связи с этим введение в рационы жмыхов масличных культур, отличающихся высоким содержанием протеина, имеет научное и практическое значение. Цель исследований – изучение эффективности применения разных уровней рыжикового жмыха в составе комбикормов-концентратов для дойных коров. **Материалы и методы.** Научно-хозяйственный опыт был проведен в условиях одного из животноводческих комплексов ООО «ЭкоНиваАгро» Воронежской области на голштинских дойных коровах. Было сформировано 4 подопытные группы по 12 голов в каждой методом пар-аналогов. Различие в кормлении заключалось в том, что в комбикорме для опытных групп производили замену подсолнечного жмыха на жмых рыжиковый в количестве 50 %, 75 % и 100 %. В ходе опыта изучали переваримость питательных веществ, показатели рубцового пищеварения, молочную продуктивность. **Результаты и выводы.** Установлено, что введение разных уровней рыжикового жмыха взамен подсолнечного способствовало лучшему перевариванию питательных веществ: сухого вещества – на 0,52-1,04 %, органического вещества – на 0,59-1,18 %, сырого протеина – 0,72-1,36 %, сырой клетчатки – на 0,39-0,83 %, сырого жира – на 0,62-0,96 %, БЭВ – на 0,75-1,27 %. Полученные данные по рубцовому содержимому свидетельствуют о более оптимальных процессах пищеварения у коров, которым скармливали разные уровни рыжикового жмыха взамен подсолнечного. Улучшение процессов пищеварения привело к повышению продуктивных показателей коров. Так, было отмечено увеличение среднесуточного удоя на 3,21-4,95 %, содержания жира в молоке – на 0,04-0,06 %, белка – 0,01-0,03 %. Наилучшие результаты были отмечены в группе коров, в комбикорме которых производили полную замену подсолнечного жмыха на рыжиковый.

Ключевые слова: *рыжиковый жмых, концентрированные комбикорма, молочная продуктивность коров, кормление молочных коров, рубцовое пищеварение коров.*

Цитирование. Зотеев С. В., Некрасов Р. В., Зотеев В. С., Чехранова С. В., Николаев С. И., Воронцова Е. С., Водянникова В. В., Чернышков А. С. Применение разных уровней рыжикового жмыха в кормлении дойных коров. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 401-408. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-45.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Основной целью современного молочного скотоводства является повышение продуктивности коров при сохранении репродуктивных показателей и обеспечении здоровья стада. Раскрытие генетического потенциала животных в первую очередь зависит от кормления [1, 6].

За последние годы производство продукции скотоводства в России увеличилось, что оказало влияние на интенсификацию исследований по улучшению показателей здоровья и продуктивных качеств коров. Учеными и практиками в области кормления был установлен дефицит протеина, отдельных аминокислот, ферментов, минеральных веществ и витаминов в рационах коров [11].

Один из главных путей интенсификации животноводства – дальнейшее развитие и укрепление кормовой базы, улучшение качества кормов и сокращение затрат на производство продукции. Необходимо повысить качество комбикормов, снизить удельный вес зерна в них за счет использования различных добавок из местных ресурсов сырья и отходов технических производств, что в определенной степени позволяет восполнять недостаток высокобелковых кормовых средств промышленной выработки [3].

Для сбалансированности комбикормов и рационов по протеину в перспективе необходимо осуществлять расширение посевов, повышение урожайности, совершенствование сортового и видового состава возделываемых культур, а также меры экономического стимулирования производства зернобобовых и масличных культур на основе разработки и реализации специальных программ государственной поддержки [5].

При рыночной экономике важно осуществлять ведение животноводства с высокой эффективностью при рациональном использовании ресурсов кормовых средств. Для крупного рогатого скота, в частности высокопродуктивных молочных коров, большое значение имеет обеспеченность рационов протеином высокого качества. Поэтому введение в рационы жмыхов масличных культур, отличающихся высоким содержанием протеина, имеет научное и практическое значение [2, 7, 9].

В последнее время во всем мире возрастает интерес к скороспелым масличным культурам. Одной из культур, стремительно приобретающей популярность в мире, является рыжик. Преимуществами данной культуры над другими масличными являются низкая себестоимость его выращивания, довольно короткий период вегетации, способность давать хороший урожай на низкоплодородных почвах, морозоустойчивость и засухоустойчивость, необязательная агрохимическая обработка почвы от вредителей. При этом отпадает необходимость в большом количестве вносимых удобрений, а из-за высокой плотности посадки происходит подавление роста сорных растений, сбор урожая данной культуры является простым, так как отделение семян идет в процессе уборки [12].

Из семян рыжика озимого сорта Пензяк, выращиваемого в зоне Среднего Поволжья, при производстве масла получают жмых, который по своему химическому составу не уступает, а по ряду показателей превосходит подсолнечный. Причем он считается низкоглюкозинолатным сортом и содержит критические аминокислоты – лизин, метионин + цистин, триптофан – в оптимальном соотношении. Рыжиковый жмых нашёл эффективное применение в кормлении молочного скота [8].

Целью исследований стало изучение эффективности применения разных уровней рыжикового жмыха в составе комбикормов-концентратов для дойных коров.

Материалы и методы. Научно-хозяйственный опыт был организован в условиях одного из животноводческих комплексов ООО «ЭкоНиваАгро» Воронежской области. Объектом для исследований служили лактирующие коровы голштинской породы, подобранные в группы по принципу пар-аналогов с учетом возраста, номера и стадии лактации живой массы и продуктивных показателей. Для опыта были сформированы 4 группы животных по 12 голов в каждой. Научный опыт проводился по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Scheme of the experiment

Группа / Group	Количество коров в группе, гол. / Number of cows in the group	Продолжительность учетного периода опыта, дн. / Duration of the accounting period of the experiment, days	Особенности кормления / Feeding characteristics
контрольная / control	12	180	Основной рацион (ОР) + комбикорм-концентрат (КК) № 1 / Basic ration (BR) + compound feed concentrate (CF) No. 1
1-я опытная / experimental 1	12	180	ОР + КК № 2 / Basic ration (BR) + compound feed concentrate (CF) No. 2
2-я опытная / experimental 2	12	180	ОР + КК № 3 / Basic ration (BR) + compound feed concentrate (CF) No. 3
3-я опытная / experimental 3	12	180	ОР + КК № 4 / Basic ration (BR) + compound feed concentrate (CF) No. 4

Основной рацион был одинаковым во всех группах и состоял из разнотравного сена, соломы пшеничной, люцернового сенажа, кукурузного силоса. На фоне такого рациона контрольная группа коров получала комбикорм-концентрат (КК) № 1 с включением в его состав подсолнечного жмыха. Первая опытная группа получала КК № 2, в котором 50 % подсолнечного жмыха заменяли на рыжиковый, В состав рационов второй и третьей опытных групп включали комбикорма-концентраты № 3 и 4, в которых производили замену 75 и 100 % подсолнечного жмыха на исследуемый рыжиковый.

Кормление животных осуществлялось на основании норм потребности в питательных веществах с учетом физиологического состояния и фактической продуктивности коров.

Общая продолжительность опыта составила 210 дней, из которых на учетный период пришлось 180 дней.

В ходе исследований вели учет среднесуточных удоев на основании контрольных доек и применяемой на предприятии автоматизированной системы Dairy Plan. Для опыта по переваримости питательных веществ, из каждой группы были выделены по 3 животных, обладающих средними характеристиками группы (по удою, качественным показателям молока, живой массе). Потребление корма коровами по каждой группе определяли в течение двух смежных дней в соответствии с разницей по массе заданного корма и его остатков. С целью выявления воздействия изучаемых рационов на процессы ферментации, протекающие в рубце подопытных коров, с помощью пищевого зонда были взяты образцы содержимого рубца (через 3 часа после утреннего кормления).

Результаты и обсуждение. Перед проведением научно-хозяйственного опыта был проанализирован состав и питательность сравниваемых подсолнечного и рыжикового жмыхов. При этом было выявлено преимущество второго по содержанию сырого жира (на 0,5 %), БЭВ (на 2,4 %), сырого протеина (на 3,75 %), лизина (на 1,89 %); также было отмечено, что рыжиковый жмых имеет более оптимальные аминокислотный и жирнокислотный составы.

Важным резервом увеличения продуктивности дойных коров является улучшение переваримости и усвоения ими питательных веществ используемых кормовых средств, которые зависят от множества факторов [4, 10].

Степень переваривания питательных веществ коровами подопытных групп представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты переваримости питательных веществ рационов коровами, %
Table 2 – Digestibility coefficients of feed nutrients by cows, %

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
Сухое вещество / Dry matter	71,03±0,32	71,55±0,31	71,81±0,32	72,07±0,30
Органическое вещество / Organic matter	71,65±0,30	72,24±0,30	72,51±0,29	72,83±0,31*
Сырой протеин / Crude protein	67,95±0,28	68,67±0,29	68,99±0,29*	69,31±0,28*
Сырая клетчатка / Crude fiber	61,70±0,27	62,09±0,29	62,37±0,28	62,53±0,28
Сырой жир / Crude fat	64,83±0,32	65,45±0,30	65,73±0,31	65,79±0,29
БЭВ / NFE	76,88±0,33	77,63±0,33	77,89±0,31	78,15±0,30*

Примечание: *P > 0,95.
Note: *P > 0,95.

В ходе опыта по переваримости было установлено, что скармливание в составе рационов комбикормов-концентратов с разными уровнями рыжикового жмыха взамен подсолнечного способствовало увеличению степени переваривания питательных веществ. Так, переваримость сухого вещества рациона коровами контрольной группы оказалась на уровне 71,03 %, в опытных группах этот показатель был выше соответственно на 0,52 %, 0,78 % и 1,04 %. Органическое вещество переваривалось лучше коровами опытных групп: превосходство по сравнению с контрольной составило 0,59 %, 0,86 % и 1,18 % соответ-

ственно. При этом стоит отметить достоверное увеличение переваримости органического вещества (при * P > 0,95) коровами 3-й опытной группы, которым в рационе полностью заменили подсолнечный жмых на рыжиковый.

Была отмечена достоверная разница в пользу коров 2-й и 3-й опытных групп по переваримости сырого протеина, она составила по сравнению с контрольным показателем 1,04 % (* P > 0,95) и 1,36 % (* P > 0,95) соответственно. При введении в рацион дойных коров комбикормов-концентратов с рыжиковым жмыхом была обнаружена лучшая степень переваримости сырой клетчатки – на 0,39 %, 0,67 % и 0,83 % соответственно по сравнению с показателем контрольной группы. Переваримость сырого жира коровами контрольной группы была на уровне 64,83 %, в то время как в опытных наблюдалось некоторое превосходство, равное 0,62 %, 0,90% и 0,96 % соответственно. Было отмечено достоверное повышение переваримости БЭВ в группе коров, где произвели полную замену подсолнечного жмыха на рыжиковый, оно составило 1,27 % (* P > 0,95) по сравнению с показателем контрольной группы.

Таким образом, введение в рацион рыжикового жмыха в составе комбикормов-концентратов положительно сказывается на переваримости питательных веществ дойными коровами, при этом лучшие результаты отмечаются в 3-й опытной группе, то есть при полной замене подсолнечного жмыха на изучаемый рыжиковый.

Одним из важнейших физиологических процессов, протекающих в организме сельскохозяйственных животных, является пищеварение. В связи с этим от трех животных из каждой группы были отобраны образцы рубцового содержимого (таблица 3).

Таблица 3 – Показатели рубцового содержимого коров
Table 3 – Indicators of the rumen content of cows

Показатель / Indicator	Группа / Groupe			
	контрольная / control	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
pH	6,89±0,08	6,81±0,07	6,77±0,08	6,79±0,07
ЛЖК, ммоль/100 мл / VFA, mmol/100 ml	108,37±0,63	109,77±0,44	110,21±0,72	110,35±0,55
Аммиак, мг % / Ammonia, mg %	11,07±0,34	10,89±0,35	10,65±0,37	10,59±0,35
Общее количество микроорганизмов, млрд/мл / Total number of microorganisms, billion/m	10,61±0,21	10,92±0,15	11,06±0,18	11,21±0,17
Число инфузорий, тыс./мл / Number of ciliates, thousand/ml	402,15±21,07	405,27±18,52	405,65±22,15	407,33±17,47

Важным фактором, определяющим состояние ферментативных процессов в рубце жвачных, является pH, оптимальное значение которого в организме дойных коров варьирует в диапазоне 6,5-7,2. В наших исследованиях полученные данные входили в эти границы, но наблюдалось незначительное снижение при введении в рацион разных уровней рыжикового жмыха.

Концентрация аммиака имела тенденцию к снижению в рубцовом содержимом от коров опытных групп, что свидетельствует о более эффективном использовании протеина микрофлорой рубца.

Количество летучих жирных кислот имеет тесную взаимосвязь с качеством и питательностью рациона. Данный показатель в рубцовом содержимом коров контрольной группы составил 108,37 ммоль/100 мл, а в опытных он увеличивался с увеличением ввода рыжикового жмыха соответственно на 1,29 %, 1,70 % и 1,83 %.

Скармливание комбикормов-концентратов с включением рыжикового жмыха способствовало увеличению общего количества микроорганизмов и количества инфузорий по сравнению с контрольной группой соответственно на 2,92 % и 0,78 %, 4,24 % и 0,87 %, 5,65 % и 1,29 %.

Таким образом, полученные данные по рубцовому содержимому свидетельствуют о более оптимальных процессах пищеварения у коров, которым скармливали разные уровни рыжикового жмыха взамен подсолнечного.

Молочная продуктивность и качественные показатели молока служат основным критерием эффективности применения различных кормов и добавок (таблица 4).

В ходе исследований установили, что среднесуточный удой коров контрольной группы составлял 34,53 кг. Введение в состав комбикормов-концентратов разных уровней рыжикового жмыха способствовало повышению данного продуктивного показателя на 3,21 %, 4,03 % и 4,95 %. При этом стоит отметить, что разница по удою между коровами контрольной и 3-й опытной группы была достоверной.

Таблица 4 – Молочная продуктивность коров и качество молока
Table 4 – Dairy productivity and milk quality of cows

Показатель / Indicator	Группа коров / Cows group			
	контрольная / control	1-я опытная / experimental 1	2-я опытная / experimental 2	3-я опытная / experimental 3
Среднесуточный удой, кг / Average daily milk yield, kg	34,53±0,43	35,64±0,52	35,92±0,47*	36,24±0,49*
% жира в молоке / % fat in milk	3,89±0,04	3,93±0,03	3,93±0,04	3,95±0,04
% белка в молоке / % protein in milk	3,55±0,02	3,56±0,03	3,58±0,03	3,58±0,03
Сухое вещество, % / Dry matter, %	12,73±0,08	12,82±0,08	12,85±0,09	12,88±0,08
СОМО, % / SOM, %	8,84±0,07	8,89±0,08	8,92±0,09	8,93±0,08
Лактоза, % / Lactose, %	4,64±0,04	4,66±0,03	4,66±0,04	4,67±0,03
Зола, % / Ash, %	0,65±0,03	0,67±0,03	0,68±0,04	0,68±0,03

Примечание: *P>0,95.
Note: *P>0,95.

По качественным характеристикам молока достоверных изменений отмечено не было, однако прослеживалась тенденция к их улучшению. Так, увеличение жира в молоке коров 1-й и 2-й опытных групп по сравнению с контрольной составило 0,04 %, в 3-й опытной группе увеличение жирномолочности оказалось равным 0,05 %. Содержание белка в молоке коров 2-й и 3-й опытных групп оказалось на одном уровне – 3,58 %, что было больше, чем в контрольной группе, на 0,03 %. По сухому веществу в молоке наблюдалась разница в пользу опытных групп на 0,09 %, 0,12 % и 0,15 % соответственно. Содержание лактозы в молоке коров контрольной группы оказалось на уровне 4,64 %, в 1-й и 2-й опытных группах этот показатель был идентичным – 4,66 %, что выше, чем в контроле, на 0,02 %. Разница по содержанию в молоке лактозы в пользу коров 3-й опытной группы была на уровне 0,03 %.

Таким образом, скармливание в составе комбикормов-концентратов разных уровней рыжикового жмыха взамен жмыха подсолнечного оказало положительное влияние на показатели молочной продуктивности коров.

Заключение. Поиск альтернативных кормовых средств связан с несколькими факторами, которые определяют экономическую эффективность, продуктивность животных и устойчивость агропромышленного комплекса. Поиск более дешевых, неприхотливых, локальных культур позволяет снизить затраты на кормление без ущерба для продуктивности. Таким кормовым средством является рыжиковый жмых, который имеет некоторые преимущества перед подсолнечным жмыхом. Введение его в состав комбикормов-концентратов для дойных коров способствовало улучшению процессов рубцового пищеварения, повышению степени переваримости питательных веществ рационов, что привело к увеличению среднесуточных удоев на 3,21-4,95 %. При этом лучшие результаты были отмечены в 3-й опытной группе, где подсолнечный жмых полностью заменяли на рыжиковый.

Conclusion. The search for alternative feed sources is linked to several factors that determine economic efficiency, animal productivity, and the sustainability of the agro-industrial complex. The search for cheaper, less demanding, locally grown crops makes it possible to reduce feeding costs without compromising productivity. One such feed source is camelina oilcake, which has certain advantages over sunflower oilcake. Introducing it into the composition of concentrate feed for dairy cows improved the processes of rumen digestion and increased the digestibility of the nutrients in the diets, which led to an increase in average daily milk yield by 0.21-4.95 %. The best results were observed in the 3rd experimental group, where sunflower oilcake was completely replaced with camelina oilcake.

Библиографический список

1. Пирогов Д. А. и др. Активатор рубцовой микрофлоры «Мегабуст Румен» в кормлении коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 290-298.
2. Голуб И. А. и др. Влияние жмыха льна масличного на физиологическое состояние молодняка крупного рогатого скота и переваримость питательных веществ корма. Зоотехническая наука Беларуси. 2024. Т. 59. С. 131-140.

3. Раджабов Ф. М. и др. Влияние использования разных жмыхов в комбикормах в кормлении лактирующих коров. Аграрный вестник Приморья. 2020. № 1 (17). С. 31-36.
4. Мунгин В. В. и др. Влияние пробиотика «Битацел» в рационе дойных коров на видимую переваримость кормов и состав рубцовой жидкости. Известия Дагестанского ГАУ. 2025. № 1 (25). С. 114-118.
5. Зотеев С. В., Некрасов Р. В., Зотеев В. С. Оценка продуктивного действия рыжикового жмыха на мясную продуктивность и экономическую эффективность откорма бычков. Самара АгроВектор. 2026. Т. 6. № 2. С. 39-49.
6. Чехранова С. В. и др. Использование адресных премиксов в кормлении дойных коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 217-223.
7. Варакин А. Т. и др. Использование жмыхов разных видов для производства молока. Эффективное животноводство. 2024. № 5 (195). С. 39-41.
8. Зотеев С. В. и др. Стартерные комбикорма с рыжиковым жмыхом для телят. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2. С. 60-66.
9. Цай В. П., Истранина Ж. А. Переваримость питательных веществ рационов при скармливании комбикормов с различным уровнем жмыха изо льна масличного. Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2020. № 23-1. С. 163-170.
10. Чудопал А. В., Гамко Л. Н., Менякина А. Г. Переваримость питательных веществ и продуктивность молодняка крупного рогатого скота при периодическом скармливании пробиотического концентрата "Проваген". Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 5 (111). С. 46-49.
11. Карапетян А. К. и др. Эффективность применения зерна люпина в рационах дойных коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 187-194.
12. Ядрищенская О. А. Использование рыжикового жмыха в рационе птицы экономически оправдано. Тенденции развития науки и образования. 2020. № 58-4. С. 55-59.

References

1. Pirogov D. A. et al. Rumen microflora activator “Megabust Rumen” in cow feeding. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 290-298.
2. Golub I. A. et al. The effect of oilseed flax meal on the physiological state of young cattle and the digestibility of feed nutrients. Zoo-technical Science of Belarus. 2024. V. 59. Pp. 131-140.
3. Radzhabov F. M. et al. The effect of using different press cakes in compound feeds for feeding lactating cows. Agrarian Bulletin of Primorye. 2020. No 1 (17). Pp. 31-36.
4. Mungin V. V. et al. The effect of the probiotic “Bitatsel” in the diet of dairy cows on the apparent digestibility of feed and the composition of rumen fluid. Proceedings of the Dagestan State Agrarian University. 2025. No 1 (25). Pp. 114-118.
5. Zoteev S. V., Nekrasov R. V., Zoteev V. S. Assessment of the productive effect of camelina meal on meat productivity and the economic efficiency of fattening calves. Samara AgroVector. 2026. Vol. 6. No 2. Pp. 39-49.
6. Chekhranova S. V. et al. Use of targeted premixes in feeding dairy cows. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 2 (74). Pp. 217-223.
7. Varakin A. T. et al. The use of different types of oilseed meals for milk production. Effective Livestock Farming. 2024. No 5 (195). Pp. 39-41.
8. Zoteev S. V. et al. Starter compound feeds with camelina meal for calves. Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2023. No 2. Pp. 60-66.
9. Tsai V. P., Istranina Zh. A. Digestibility of nutrients in diets when feeding compound feeds with different levels of oilseed flax meal. Current problems of intensive development of animal husbandry. 2020. No 23-1. Pp. 163-170.
10. Chudopal A. V., Gamko L. N., Menyakina A. G. Digestibility of nutrients and productivity of young cattle when periodically feeding the probiotic concentrate “Provagen”. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. No 5 (111). Pp. 46-49.
11. Karapetyan A. K. et al. The effectiveness of using lupine grain in the diets of dairy cows. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 2 (74). Pp. 187-194.
12. Yadrishchenskaya O. A. The use of camelina meal in poultry diets is economically justified. Trends in the Development of Science and Education. 2020. No. 58-4. Pp. 55-59.

Информация об авторах

Зотеев Степан Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФГБНУ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, Подольский район, пос. Дубровицы, 47), e-mail: stephan007@mail.ru
Некрасов Роман Владимирович, профессор РАН, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом, ФГБНУ ВИЖ им. Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, Подольский район, пос. Дубровицы, 47), e-mail: nek_roman@mail.ru
Зотеев Владимир Степанович, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО Самарский ГАУ (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-кинельский, ул. Учебная, 2), e-mail: vladimir.zoteev@yandex.ru
Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru
Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru
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
Водянникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Чернышков Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, врио проректора по стратегическому развитию и внешним связям, ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), e-mail: Donchene@mail.ru

Authors' Information

Zoteev Stepan Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Federal Research Center of Animal Husbandry named after academician L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsky District, Dubrovitsy Village, 47), e-mail: stephan007@mail.ru

Nekrasov Roman Vladimirovich, Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Federal Research Center of Animal Husbandry named after academician L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsky District, Dubrovitsy Village, 47), e-mail: nek_roman@mail.ru

Zoteev Vladimir Stepanovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, village. Ust-kinelsky, Uchebnaya Str., 2), e-mail: vladimir.zoteev@yandex.ru

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Chernyshkov Aleksandr Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Acting Vice-Rector for Strategic Development and External Relations, Donskoy State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov Region, Oktyabrsky district, Persianovsky settlement, Krivoshlykova str., 24), e-mail: Donchene@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-46

THE EFFECT OF COPPER, MAGNESIUM AND MANGANESE AS THE FODDER ADDITIVE ON THE FISH BODY

[1]Kilyakova Yu. V., [1]Miroshnikova E. P., [1]Arinzhanov A. E., [1,2]Bulanin D. I.

[1]Orenburg State University named after V. A. Bondarenko
[2]Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: fish-ka06@mail.ru

Received 24.04.2026 Submitted 14.07.2026

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement No. 075-15-2024-550).

Abstract

Introduction. The intestinal microbiome is a complex, integrated system interacting with the host organism at multiple levels. The fish intestine not only serves as a digestive tract but also acts as a key organ mediating the body's interactions with environmental factors, as well as participating in adaptive and stress responses. The intestinal microbiota is highly diverse and comprises a large population of microorganisms. Under physiological conditions, normal intestinal microflora includes approximately one hundred species of nonpathogenic bacteria and a small number of opportunistic pathogens [2]. To produce environmentally friendly fish products, feed manufacturers offer a wide range of feed additives with various mechanisms of action. Ultrafine nan-powders and emulsions show the greatest potential for the development of pharmaceuticals and feed additives. Preparations containing nanoparticles of macro- and microelements, in comparison with traditional dosage forms, are characterized by environmental safety, increased bioavailability, and high therapeutic and productive efficiency in practical use [5, 6]. The aim of the study was to analyze the microbial communities of the carp intestine to identify feed additives that ensure maximum productivity and have the least negative impact on the fish organism. **Object.** Carp fingerlings *(Cyprinus carpio)* weighing 43±1 g were grown in nursery ponds using domestic starter feeds. **Materials and methods.** The studies were conducted at the Department of Biotechnology of Animal Raw Materials and Aquaculture of the Orenburg State University named after V. A. Bondarenko. Seven groups of fish (n = 10) were formed using the pair-analogue method. Carp in the control group received feed without nanoparticle preparations, in the 1st experimental group, ultrafine particles of Cu-C were added to the feed at a dosage of 0.2 ppm; 2nd experimental group – ultrafine particles of Cu-C 0.4 ppm; 3rd – ultrafine particles of Mg-C 0.2 ppm; 4th – ultrafine particles of Mg-C 0.4 ppm; 5th – ultrafine particles of Mn-C 0.2 ppm and 6th experimental group – ultrafine particles of Mn-C 0.4 ppm. During the experiment, the dynamics of body weight were determined to study the growth and development of carp. To study the intestinal microbiota after slaughter, samples of the cecum were collected in sterile test tubes. **Results and conclusions.** Adding manganese nanocomposite at concentrations of 0.4 and 0.2 ppm to the carp diet did not result in significant changes in the ratios of bacterial taxa in the fish gut microbiota at any taxonomic level. A significant increase in alpha diversity, as meas-

ured by the Shannon-Simpson index, was observed in the groups receiving copper nanocomposite at concentrations of 0.4 and 0.2 ppm and magnesium nanocomposite at a concentration of 0.4 ppm. The best indicators for growth and gut microbiota composition were observed in Group III, which received copper nanocomposite at a dose of 0.2 ppm as a feed additive.

Keywords: *carp, carp feeding, fish intestines, complex feed additives, artificial fish farming, carp breeding.*

Citation. Kilyakova Yu. V., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Bulanin D. I. The effect of copper, magnesium and manganese as the fodder additive on the fish body. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 408-421 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-46.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in planning, conducting and analyzing the results obtained. The submitted article was approved by all authors.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 639.3.043.2:543

ВЛИЯНИЕ МЕДИ, МАГНИЯ И МАРГАНЦА В КАЧЕСТВЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОРГАНИЗМ РЫБ

[1]Килякова Ю. В., *кандидат биологических наук, доцент*
[1]Мирошникова Е. П., *доктор биологических наук, профессор*
[1]Аринжанов А. Е., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
[1,2]Буланин Д. И., *аспирант*

[1]ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко»
[2] ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН
г. Оренбург, Российская Федерация

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение №075-15-2024-550).

Актуальность. Микробиом кишечника представляет собой сложную интегрированную систему, взаимодействующую с организмом хозяина на множестве уровней. Кишечник рыб выполняет не только пищеварительную функцию, но и выступает в качестве одного из основных органов, опосредующих взаимодействие организма с факторами внешней среды, а также участвующих в реализации адаптационных и стрессовых реакций. Кишечная микробиота характеризуется высокой степенью разнообразия и формируется обширной популяцией микроорганизмов. В физиологических условиях состав нормальной микрофлоры кишечника включает около ста видов непатогенных бактерий и незначительное количество условно-патогенных форм [2]. Для получения экологически безопасной рыбной продукции производители кормов предлагают широкий спектр кормовых добавок различного механизма действия. Наибольшей перспективностью для разработки лекарственных препаратов и кормовых добавок обладают ультрадисперсные нанопорошки и эмульсии. Препараты, в состав которых входят наночастицы макро- и микроэлементов, в сравнении с традиционными лекарственными формами характеризуются экологической безопасностью, повышенной биодоступностью и высокой терапевтической и продукционной эффективностью при практическом применении [5, 6]. Цель исследования: анализ микробных сообществ кишечника карпа для выявления кормовых добавок, обеспечивающих максимальную продуктивность и оказывающих наименьшее негативное воздействие на организм рыб. **Объект:** сеголетки карпа (*Cyprinus carpio*) навеской 43 ± 1 г, которые выращивались в выростных прудах на отечественных стартовых кормах. **Материалы и методы.** Исследования были проведены на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко». Методом параналогов были сформированы семь групп рыб (n = 10). Карпы контрольной группы получали корм без препаратов наночастиц, в I опытной группе рыбе в корм добавляли УДЧ Cu-C в дозировке 0,2 ppm; II опытной УДЧ Cu-C 0,4 ppm; III – УДЧ Mg-C 0,2 ppm; IV – УДЧ Mg-C 0,4 ppm; V – УДЧ Mn-C 0,2 ppm и VI опытной – УДЧ Mn-C 0,4 ppm. В ходе эксперимента для исследования роста и развития карпа определяли динамику массы тела. Для исследования микробиоты кишечника после убоя проводили отбор проб слепого отдела кишечника в стерильные пробирки. **Результаты и выводы.** Добавление в рацион карпа нанокомпозита марганца в концентрации 0,4 и 0,2 ppm не привело к существенным изменениям соотношений бактериальных таксонов в микробиоте кишечника рыб на всех таксономических уровнях. Значительное увеличение альфа-разнообразия по индексу Шеннона и Симпсона наблюдалось в группах, получавших в качестве кормовой добавки нанокомпозит меди в концентрациях 0,4 и 0,2 ppm и нанокомпозит магния в концентрации 0,4 ppm. Наилучшие показатели по росту и составу кишечной микробиоты были выявлены в III группе, где в качестве кормовой добавки использовался нанокомпозит меди в дозировке 0,2 ppm.

Ключевые слова: *карп, кормление карпа, кишечник рыб, комплексные кормовые добавки, искусственное рыборазведение, разведение карпов.*

Цитирование. Килякова Ю. В., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Буланин Д. И. Влияние меди, магния и марганца в качестве кормовой добавки на организм рыб. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 408-421. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-46.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. Все авторы данного исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении и анализе полученных результатов. Представленная статья одобрена всеми авторами.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Значение аквакультуры для сельского хозяйства трудно переоценить. Эта отрасль даёт возможность выращивать водные организмы в искусственно созданных условиях. Её ключевые преимущества: укрепление продовольственной безопасности, обеспечение населения полноценным белком и нутриентами, создание новых рабочих мест и развитие рыночных отношений. Помимо экономической выгоды, аквакультура помогает сохранять дикие популяции гидробионтов и восстанавливать водные экосистемы.

Микробиом кишечника представляет собой сложную интегрированную систему, взаимодействующую с организмом хозяина на множестве уровней. В настоящее время он признан критически значимым фактором, определяющим гомеостаз и здоровье многих водных организмов, что, в свою очередь, актуализирует задачу поддержания разнообразного и устойчивого микробного сообщества. Как показывают исследования, многофакторные связи между микробиомом и организмом рыб реализуют широкий спектр положительных для хозяина функций: оптимизацию усвоения нутриентов, стимуляцию ростовых процессов, модуляцию иммунных реакций, а также усиление защитного потенциала против патогенов [1].

Однако микробиом кишечника может проявлять и патогенное действие. Нарушение равновесия микробного сообщества (дисбиоз) коррелирует с повышением риска развития заболеваний у рыб. Трансформация структуры микробного сообщества способна создавать предпосылки для патологических изменений вследствие неконтролируемой пролиферации или инвазии нежелательных микроорганизмов, инициирующих инфекционные процессы и приводящих к дисфункции тканей [2].

Равновесное состояние микробных сообществ кишечника подвержено модулирующему воздействию гетерогенного набора факторов, включая стрессорные воздействия, антибиотикотерапию, нутритивный статус, возрастные изменения и бактериальные инфекции. Установлено, что доминирующая роль в формировании состава кишечной микробиоты, а также в регуляции метаболической активности и численности ключевых симбиотических таксонов принадлежит рациону, что опосредует биологические изменения на уровне организма хозяина.

Несмотря на значительный прогресс в изучении кишечных микробиомов, существующая доказательная база преимущественно сформирована на основе исследований с участием человека и наземных модельных организмов. Вследствие этого наблюдается выраженный дефицит данных, касающихся характеристик микробиомов кишечника водных организмов, а также их структурно-функциональных изменений в ответ на флуктуации параметров водной среды [3].

Кишечник рыб выполняет не только пищеварительную функцию, но и выступает в качестве одного из основных органов, опосредующих взаимодействие организма с факторами внешней среды, а также участвующих в реализации адаптационных и стрессовых реакций. Кишечная микробиота характеризуется высокой степенью разнообразия и формируется обширной популяцией микроорганизмов. В физиологических условиях состав нормальной микрофлоры кишечника включает около ста видов непатогенных бактерий и незначительное количество условно-патогенных форм [2].

Несмотря на то что во многих странах применение кормовых антибиотиков законодательно запрещено, в отечественной практике их использование сохраняет широкую распространённость. В этой связи перед производителями стоит задача поиска альтернативных решений, обеспечивающих получение экологически безопасной рыбной продукции. К числу актуальных проблем, ассоциированных с применением антибиотиков, относится

формирование устойчивых (резистентных) штаммов бактерий. Это, в свою очередь, обусловливает рост заболеваемости рыб дисбактериозом и снижение терапевтической эффективности антибактериальных препаратов, что существенно затрудняет лечение инфицированных животных [4].

В качестве альтернативы запрещённым кормовым антибиотикам производители кормов предлагают широкий спектр кормовых добавок различного механизма действия.

Наибольшей перспективностью для разработки лекарственных препаратов и кормовых добавок обладают ультрадисперсные нанопорошки и эмульсии. Препараты, в состав которых входят наночастицы макро- и микроэлементов, в сравнении с традиционными лекарственными формами характеризуются экологической безопасностью, повышенной биодоступностью и высокой терапевтической и продукционной эффективностью при практическом применении [5, 6].

Карп (*Cyprinus carpio*) относится к числу приоритетных объектов аквакультуры на территории Российской Федерации. Поэтому именно этот вид был выбран в качестве объекта исследования. В целях характеристики и сравнительного анализа микробных сообществ кишечника карпа, а также для идентификации кормовых добавок, оказывающих наименее выраженное негативное воздействие на организм гидробионтов, способствующих повышению сохранности поголовья и обеспечивающих максимальную продуктивность, в настоящем исследовании были изучены нанокомпозиты меди, магния и марганца.

Материалы и методы. Исследования были проведены на базе кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко». Объект исследования – молодь карпа (*Cyprinus carpio*) навеской 43 ± 1 г, которая выращивалась в выростных прудах на отечественных стартовых кормах. Исследования выполнены в соответствии с протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). Все процедуры над животными выполняли в соответствии с требованиями Этического комитета Оренбургского государственного университета (протокол № 1 от 17.01.2024 г.).

Методом пар-аналогов были сформированы семь групп (n = 10). Исследование проведено в течение 63 суток, из которых 7 суток – подготовительный период. Кормление осуществлялось в светлое время суток, кратность – 4 раза в день. Суточная норма кормления составляла 5 % от массы тела [7]. Дозы рациона пересчитывали еженедельно после взвешивания. Кормовые добавки наносили на корм путем напыления. Первоначальная дозировка была основана на ранее проведенных исследованиях [8-13]. Карпы контрольной группы получали корм без препаратов наночастиц, в I опытной группе рыбе в корм добавляли УДЧ Cu-C в дозировке 0,2 ppm; во II опытной – УДЧ Cu-C 0,4 ppm; в III – УДЧ Mg-C 0,2 ppm; в IV – УДЧ Mg-C 0,4 ppm; в V – УДЧ Mn-C 0,2 ppm и в VI опытной – УДЧ Mn-C 0,4 ppm. В качестве основного рациона использован корм КРК-110 (производитель – ОАО «Оренбургский комбикормовый завод», г. Оренбург) включающий ячмень, шрот подсолнечный, пшеницу, известняковую муку, шрот соевый, жмых подсолнечный, белковый концентрат, кукурузный глютен, муку мясокостную СП 40 %, масло подсолнечное, монохлоргидрат лизина 98 %, монокальцийфосфат, европелин VG, премикс П10-Л.

В качестве исследуемых добавок использованы нанокомпозиты Mg-C, Mn-C, Cu-C (40-60 нм), представляющие собой углеродную матрицу с наночастицами. Нанокомпозиты получены плазменно-дуговой технологией синтеза на углеродной матрице в Институте теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения РАН. Способ синтеза включает распыление в плазме электрического дугового разряда постоянного тока в атмосфере инертного газа композитного электрода в виде графитового стержня с просверленной полостью, в которую запрессована смесь порошков металла и углерода в виде графита.

Подопытная рыба содержалась в условиях аквариумного стенда (V = 300 л). Температура воды составила 25 ± 2 °С, уровень растворенного в воде кислорода – 7-9 мг/л, водородный показатель – 7.

Живая масса определялась еженедельно при помощи индивидуального взвешивания (±1 г) при помощи весов Electronic Scale SF-400 с погрешностью ±1 г. После убоя в стерильные пробирки проводили отбор проб слепого отдела кишечника для определения микробиома. Пробы отбирали случайным образом у 4 голов рыб из каждой группы.

Исследование микробиоты кишечника проведено на базе Центра коллективного пользования «Персистенция микроорганизмов» ФГБУН Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН (https://ckp-rf.ru/ckp/351815/).

Биоинформатический анализ данных секвенирования проведен с помощью программ «FastQC v. 0.11.9» («Babraham Bioinformatics», Англия) и «Usearch V. 11.0.667» (Edgar R., 2010, США); анализ включал фильтрацию по качеству (ожидаемая ошибка или maxee < 1,00) и минимальной длине ампликона (400 п.н.). Достоверность статистически значимых различий считали по t-критерию Стьюдента при значениях $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$. Графическая обработка выполнена при помощи «Excel» («Microsoft», США) и веб-платформы MicrobiomeAnalyst (https://www.microbiomeanalyst.ca/MicrobiomeAnalyst/).

Результаты и обсуждение. Масса тела рыб и абсолютный прирост за период выращивания являются одними из наиболее значимых параметров, определяющих оптимальные дозировки безопасных кормовых добавок [9, 13]. Анализ данных по динамике роста подопытных карпов показал, что добавление марганца в дозировке 0,2 ppm и меди в дозировке 0,4 ppm привело к достоверному увеличению живой массы рыб на 10,8 % *(P ≤ 0,01)*. Наиболее выраженный ростостимулирующий эффект был зарегистрирован в экспериментальной группе, получавшей кормовую добавку в виде нанокомпозита меди в дозе 0,2 ppm. Живая масса молоди карпа в этой группе статистически значимо превышала контрольные показатели на 15,3 % *(P ≤ 0,001)* (рисунок 1). Выявленная закономерность оставалась стабильной на протяжении всего учётного периода.

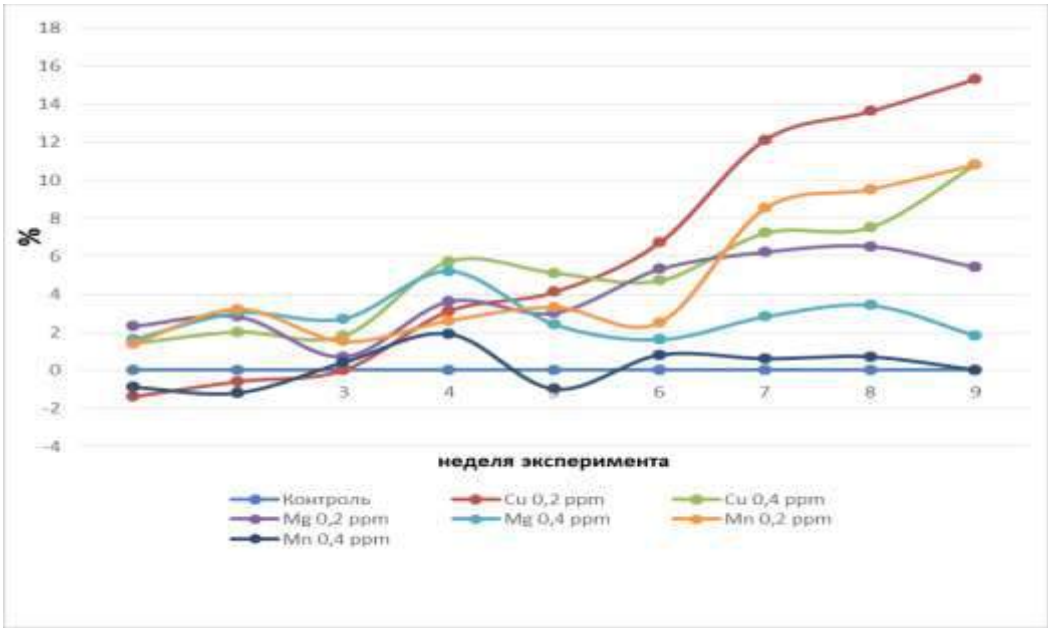


Рисунок 1 – Динамика прироста живой массы карпа, %
Figure 1 – Carp live weight gain dynamics, %

Введение нанокомпозитов меди, магния и марганца в рацион рыб оказало влияние на микробиом кишечника. При оценке альфа-разнообразия кишечной микробиоты установлено, что добавление в корм карпа ультрадисперсных частиц меди в дозировках 0,4 и 0,2 ppm сопровождалось существенным увеличением индексов Шеннона (рисунок 2) и Симпсона (рисунок 3) по сравнению с контрольной группой. Так, индекс разнообразия Шеннона повышался до 1,23-3,25 в I группе (Cu-C 0,2 ppm) и до 1,42-2,56 во II группе (Cu-C 0,4 ppm) (в контроле – 0,88-1,48) (рисунок 2), а индекс разнообразия Симпсона повышался до 0,62-0,91 в I группе и до 0,62-0,86 – во II группе (в контроле – 0,47-0,66) (рисунок 3).

В отличие от эффектов, наблюдаемых при введении ультрадисперсной меди, применение магния и марганца в аналогичных концентрациях (0,4 и 0,2 ppm) не привело к статистически значимым изменениям показателей альфа-разнообразия: индексов Шеннона (рисунок 2) и Симпсона (рисунок 3) – по сравнению с контрольной группой.

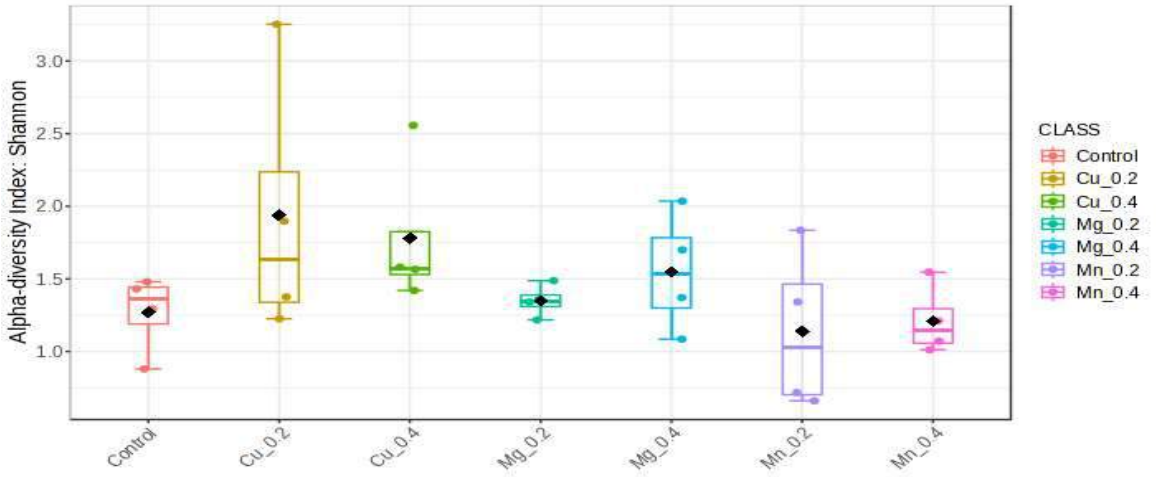


Рисунок 2 – Индекс разнообразия Шеннона кишечной микробиоты рыб контрольной и опытных групп (опытные группы: Cu_0.2 и Cu_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mg_0.2 и Mg_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц магния в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mn_0.2 и Mn_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 2 – Shannon diversity index of intestinal microbiota of fish in the control and experimental groups (experimental groups: Cu_0.2 and Cu_0.4 – addition of ultrafine copper particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mg_0.2 and Mg_0.4 – addition of ultrafine magnesium particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mn_0.2 and Mn_0.4 – addition of ultrafine manganese particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

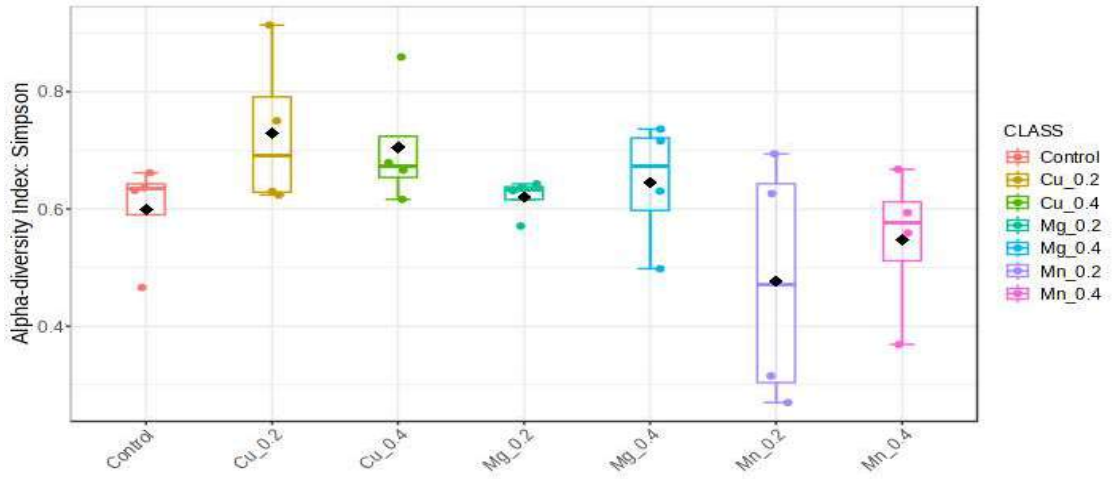


Рисунок 3 – Индекс разнообразия Симпсона кишечной микробиоты рыб контрольной и опытных групп (опытные группы: Cu_0.2 и Cu_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mg_0.2 и Mg_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц магния в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mn_0.2 и Mn_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 3 – Simpson diversity index of intestinal microbiota of fish in the control and experimental groups (experimental groups: Cu_0.2 and Cu_0.4 – addition of ultrafine copper particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mg_0.2 and Mg_0.4 – addition of ultrafine magnesium particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mn_0.2 and Mn_0.4 – addition of ultrafine manganese particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

Анализ бета-разнообразия кишечной микробиоты карпа методом главных координат на основе дистанций Брея-Кёртиса показал статистически значимые различия ($p = 0,002$) между контрольными образцами кишечной микробиоты и образцами только одной опытной группы рыб, получавшей в качестве добавки в рацион ультрадисперсные частицы магния в концентрации 0,4 ppm. Действительно, на 2D диаграмме ординации явно

выделяется кластер образцов Mg_0.4 (IV группа дозировка Mg-C 0,4 ppm), максимально удаленный от контрольных образцов (Control) и образцов Mg_0.2 (III группа дозировка Mg-C 0,2 ppm) (рисунок 4).

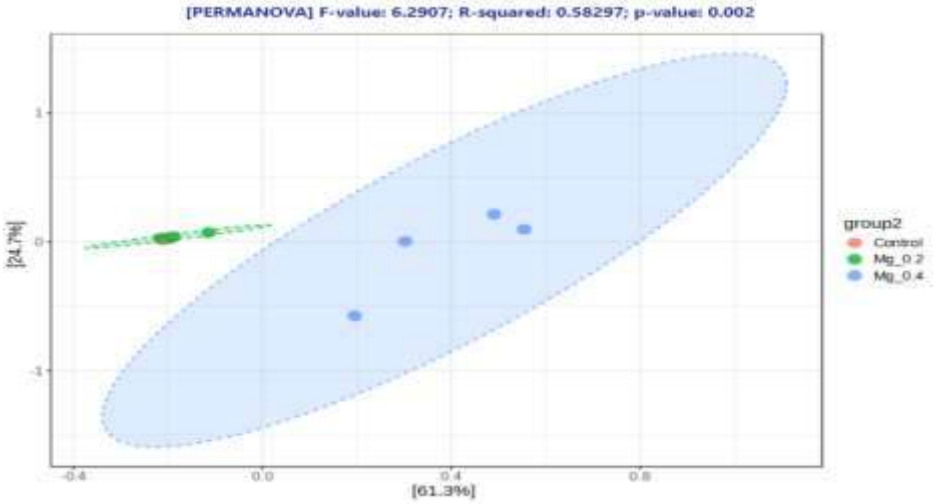


Рисунок 4 – 2D диаграмма ординации кишечной микробиоты рыб контрольной и опытных групп, построенная методом главных координат на основе дистанций Брея-Кёртиса (опытные группы: Mg_0.2 и Mg_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц магния в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 4 – 2D diagram of the ordination of the intestinal microbiota of fish from the control and experimental groups, constructed using the principal coordinates method based on the Bray-Curtis distances (experimental groups: Mg_0.2 and Mg_0.4 – addition of ultrafine magnesium particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

В то же время, кишечная микробиота рыб, получавших ультрадисперсные частицы меди (Cu_0.2 и Cu_0.4) и марганца (Mn_0.2 и Mn_0.4) не отличались существенно от контрольных образцов (Control) (рисунки 5 и 6).

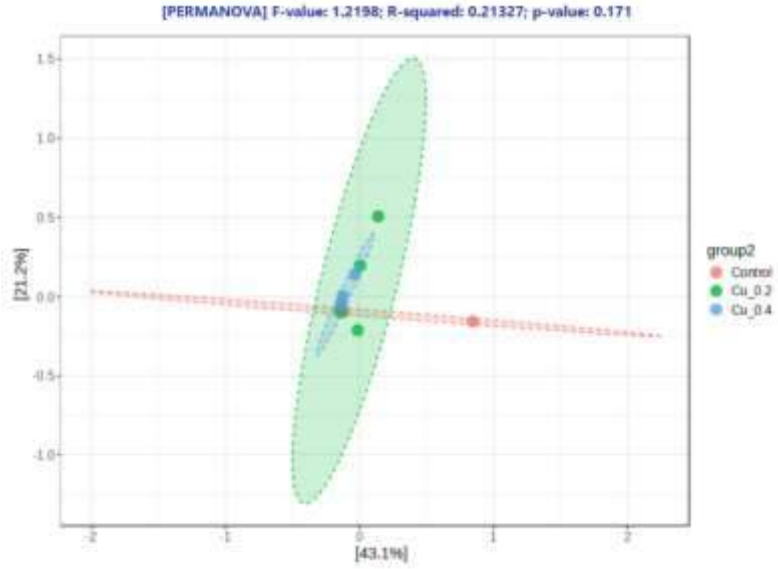


Рисунок 5 – 2D диаграмма ординации кишечной микробиоты рыб контрольной и опытных групп, построенная методом главных координат на основе дистанций Брея-Кёртиса (опытные группы: Cu_0.2 и Cu_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 5 – 2D diagram of the ordination of the intestinal microbiota of fish from the control and experimental groups, constructed using the principal coordinates method based on the Bray-Curtis distances (experimental groups: Cu_0.2 and Cu_0.4 – addition of ultrafine copper particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

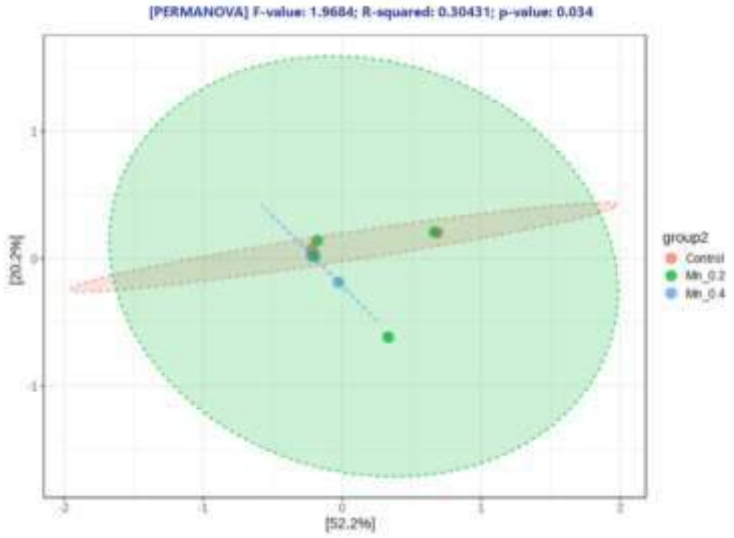


Рисунок 6 – 2D диаграмма ординации кишечной микробиоты рыб контрольной и опытных групп, построенная методом главных координат на основе дистанций Брея-Кёртиса (опытные группы: Mn_0.2 и Mn_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 6 – 2D diagram of the ordination of the intestinal microbiota of fish from the control and experimental groups, constructed using the principal coordinates method based on the Bray-Curtis distances (experimental groups: Mn_0.2 and Mn_0.4 – addition of ultrafine manganese particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

В кишечной микробиоте рыб контрольной группы доминировали 3 филы, которые занимали максимальную долю: *Pseudomonadota* (30,50-54,04 %), *Fusobacteriota* (37,17-67,73 %) и *Bacillota* (1,59-11,96 %). Незначительно были представлены филы *Actinomycetota* (0-0,27 %), *Bacteroidota* (0-0,11 %), *Thermodesulfobacteriota* (0,01-5,31 %), и *Spirochaetota* (0-1,02 %) (рисунок 7).

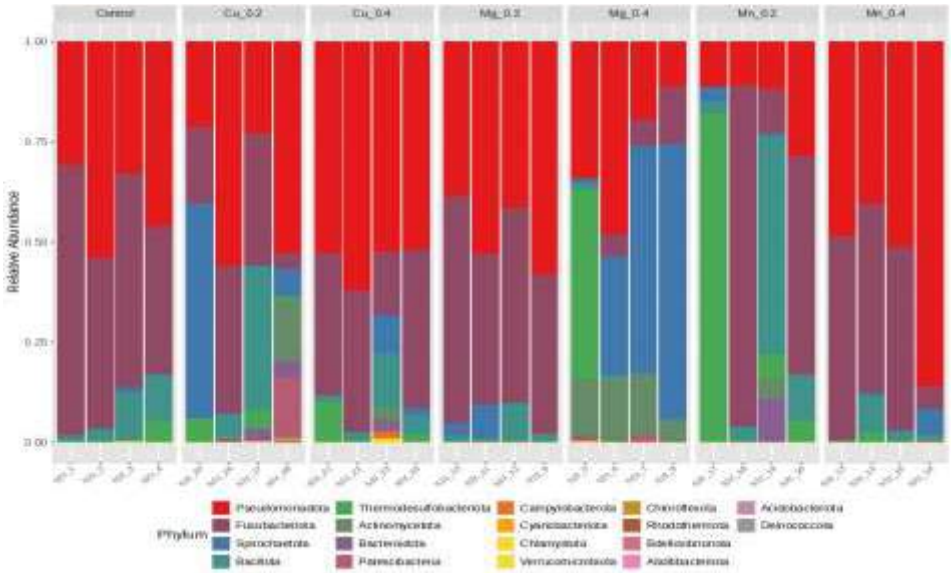


Рисунок 7 – Таксономический состав на уровне фил микробиоты рыб контрольной и опытных групп (опытные группы: Cu_0.2 и Cu_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mg_0.2 и Mg_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц магния в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mn_0.2 и Mn_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 7 – Taxonomic composition at the phylum level of the microbiota of fish in the control and experimental groups (experimental groups: Cu_0.2 and Cu_0.4 – addition of ultrafine copper particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mg_0.2 and Mg_0.4 – addition of ultrafine magnesium particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mn_0.2 and Mn_0.4 – addition of ultrafine manganese particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

На уровне классов доминировали *Gammaproteobacteria* (30,50-54,02 %), *Bacilli* (1,59-11,95 %), и *Fusobacteriia* (37,17-67,73 %) (рисунок 8).

Доминирующими семействами были *Aeromonadaceae* (29,82-51,30 %), *Erysipelotrichaceae* (1,58-8,85 %), и *Fusobacteriaceae* (37,17-67,73 %) (рисунок 9).

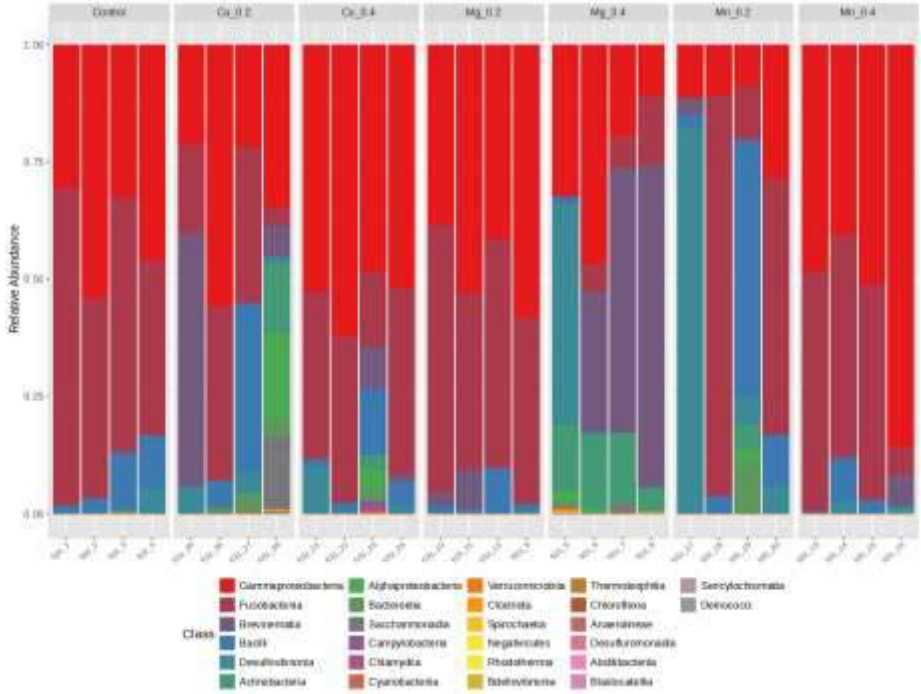


Рисунок 8 – Таксономический состав на уровне классов микробиоты рыб контрольной и опытных групп (опытные группы: Cu_0.2 и Cu_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mg_0.2 и Mg_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц магния в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mn_0.2 и Mn_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 8 – Taxonomic composition at the level of microbiota classes of fish in the control and experimental groups (experimental groups: Cu_0.2 and Cu_0.4 – addition of ultrafine copper particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mg_0.2 and Mg_0.4 – addition of ultrafine magnesium particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mn_0.2 and Mn_0.4 – addition of ultrafine manganese particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

На уровне родов доминировали *Aeromonas* (29,74-50,37 %), *Cetobacterium* (37,17-67,73 %) и *Culicoidibacter* (1,58-8,85 %) (рисунок 9).

Добавление в рацион карпа ультрадисперсных частиц меди в концентрации 0,4 ppm не привело к достоверной перестройке таксономической структуры кишечной микробиоты. Значимые изменения относительного обилия бактериальных таксонов отсутствовали на всех рассмотренных таксономических уровнях. В частности, на уровне фил возросла доля *Pseudomonadota* до 51,78-62,03 % (30,50-54,04 % в контроле) и снизилась доля *Fusobacteriota* до 15,89-39,76 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 6). На уровне классов возросла доля *Gammaproteobacteria* до 48,37-62,02 % (30,50-54,02 % в контроле) и снизилась доля *Fusobacteriia* до 15,89-39,76 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 7). На уровне семейств снизилась доля *Fusobacteriaceae* до 15,89-39,76 % (37,17-67,73 % в контроле), и возросла доля *Shewanellaceae* до 1,03-4,31 % (0-1,71 % в контроле) (рисунок 8). На уровне родов снизилась доля *Cetobacterium* до 15,89-39,76 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 9).

Использование ультрадисперсных частиц меди в рационе карпа в концентрации 0,2 ppm также не оказало существенного влияния на баланс бактериальных таксонов в составе кишечной микробиоты. В частности, снизилась доля филы *Fusobacteriota*, класса *Fusobacteriia*, семейства *Fusobacteriaceae* до 4,06-36,92 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 6, рисунок 7, рисунок 8). На уровне родов снизилась доля *Cetobacterium* до 4,06-36,92 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 9).

Добавление в рацион карпа ультрадисперсных частиц магния в концентрации 0,4 ppm привело к существенным изменениям соотношений бактериальных таксонов в микробиоте кишечника карпа на всех таксономических уровнях.



Рисунок 9 – Таксономический состав на уровне семейств микробиоты рыб контрольной и опытных групп (опытные группы: Cu_0.2 и Cu_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mg_0.2 и Mg_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц магния в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mn_0.2 и Mn_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 9 – Taxonomic composition at the family level of the microbiota of fish in the control and experimental groups (experimental groups: Cu_0.2 and Cu_0.4 – addition of ultrafine copper particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mg_0.2 and Mg_0.4 – addition of ultrafine magnesium particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mn_0.2 and Mn_0.4 – addition of ultrafine manganese particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

В частности, на уровне фил значительно возросла доля *Actinomycetota* до 5,04-15,81 % (0-0,27 % в контроле) и *Spirochaetota* до 0,92-68,57 % (0-1,02 % в контроле), а также резко снизилась доля *Bacillota* до 0,02-1,66 % (1,59-11,96 % в контроле) и *Fusobacteriota* до 0,09-14,59 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 7). На уровне классов значительно возросла доля *Actinobacteria* до 5,04-15,81 % (0-0,27 % в контроле) и *Brevinematia* до 0,58-68,57 % (0-1,02 % в контроле), а также резко снизилась доля *Bacilli* до 0,02-1,21 % (1,59-11,95 % в контроле) и *Fusobacteriia* до 0,09-14,59 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 8). На уровне семейств значительно возросла доля *Microbacteriaceae* до 5,03-15,25 % (0-0,24 % в контроле), *Burkholderiaceae* до 0,31-3,93 % (0-0,06 % в контроле) и *Brevinemataceae* до 0,58-68,57 % (0-1,02 % в контроле), а также резко снизилась доля *Erysipelotrichaceae* до 0,01-0,32 % (1,58-8,85 % в контроле) и *Fusobacteriaceae* до 0,09-14,59 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 9). На уровне родов значительно возросла доля *Aurantimicrobium* до 5,03-15,25 % (0-0,24 % в контроле), *Polynucleobacter* до 0,31-3,93 % (0-0,06 % в контроле) и *Brevinema* до 0,58-68,57 % (0-1,02 % в контроле), а также резко снизилась доля *Culicoidibacter* до 0,01-0,32 % (1,58-8,85 % в контроле) и *Cetobacterium* до 0,09-14,59 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 10).

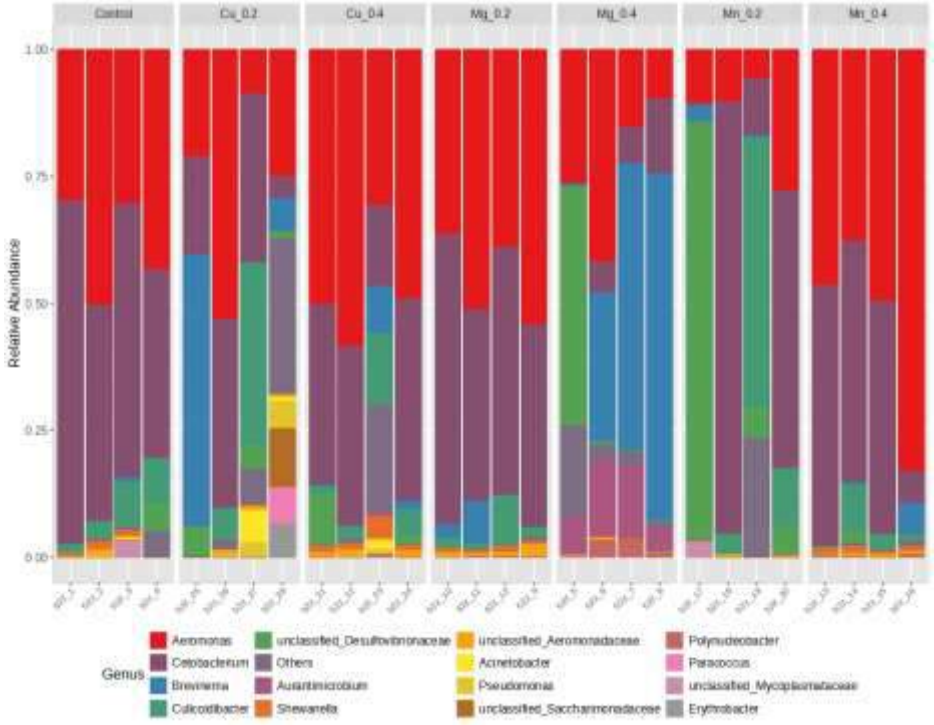


Рисунок 10 – Таксономический состав на уровне родов микробиоты рыб контрольной и опытных групп (опытные группы: Cu_0.2 и Cu_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mg_0.2 и Mg_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц магния в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Mn_0.2 и Mn_0.4 – добавка ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,2 и 0,4 ppm; Control – контрольная группа)

Figure 10 – Taxonomic composition at the genus level of the microbiota of fish in the control and experimental groups (experimental groups: Cu_0.2 and Cu_0.4 – addition of ultrafine copper particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mg_0.2 and Mg_0.4 – addition of ultrafine magnesium particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Mn_0.2 and Mn_0.4 – addition of ultrafine manganese particles at concentrations of 0.2 and 0.4 ppm; Control – control group)

Добавление в рацион карпа ультрадисперсных частиц марганца в концентрации 0,4 ppm не привело к существенным изменениям соотношений бактериальных таксонов в микробиоте кишечника карпа на всех таксономических уровнях. В частности, возросла доля филы *Pseudomonadota* до 40,43-85,80 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 7), класса *Gammaproteobacteria* до 40,43-85,72 % (37,17-67,73 % в контроле) (рисунок 8), семейства *Aeromonadaceae* до 38,90-83,76 % (29,82-51,30 % в контроле), а также появились представители семейства *Neisseriaceae* в доле 0,01-0,10 %, отсутствующие в контрольной группе (рисунок 9). На уровне родов возросла доля *Aeromonas* до 37,79-83,13 % (29,74-50,37 % в контроле), появился род *Kingella* в доле 0,01-0,10 %, отсутствующий в контрольной группе (рисунок 10).

Обогащение рациона карпа ультрадисперсными частицами марганца в концентрации 0,2 ppm не оказало статистически значимого влияния на соотношение бактериальных таксонов в микробиоте кишечника. В частности, снизилась доля филы *Pseudomonadota* до 8,92-28,27 % (30,50-54,04 % в контроле) (рисунок 7), класса *Gammaproteobacteria* до 10,82-28,30 % (30,50-54,02 % в контроле) (рисунок 8), семейства *Aeromonadaceae* до 5,61-28,01 % (29,82-51,30 % в контроле) (рисунок 9). На уровне родов снизилась доля *Aeromonas* до 5,61-27,71 % (29,74-50,37 % в контроле) (рисунок 10).

С использованием высокопроизводительного секвенирования тотальной ДНК, выделенной из кишечника карпа, были зафиксированы изменения альфа- и бета-разнообразия, а также количественного и качественного таксономического состава кишечной микробиоты у рыб опытных групп. Добавление в рацион ультрадисперсных частиц меди, магния и марганца в концентрациях 0,4 и 0,2 ppm сопровождалось указанными изменениями. Обогащение рациона карпа ультрадисперсными частицами меди в дозировках 0,4 и 0,2 ppm ассоциировалось со значимым повышением индексов альфа-разнообразия (Шен-

нона и Симпсона) кишечной микробиоты по сравнению с контрольной группой. В противоположность этому, введение в корм ультрадисперсных частиц магния и марганца в аналогичных концентрациях не оказывало достоверного влияния на индексы разнообразия микробиома кишечника.

При оценке бета-разнообразия кишечной микробиоты карпа с использованием метода главных координат и матрицы дистанций Брея-Кёртиса было установлено, что наиболее существенные и статистически значимые перестройки микробного сообщества ($p = 0,002$) происходили при включении в основной рацион ультрадисперсных частиц магния в дозировке 0,4 ppm. При анализе таксономической структуры кишечной микробиоты были выявлены разнонаправленные изменения. Установлено существенное увеличение относительного обилия следующих таксонов, относящихся к нормальной кишечной микрофлоре рыб: представителей рода *Aurantimicrobium* (семейство *Microbacteriaceae*, класс *Actinobacteria*, филум *Actinomycetota*), рода *Brevinema* (семейство *Brevinemataceae*, класс *Brevinematia*, филум *Spirochaetota*), а также рода *Polynucleobacter* (семейство *Burkholderiaceae*), характеризующегося грамотрицательным типом клеточной стенки и факультативно-анаэробным метаболизмом. Одновременно зафиксировано выраженное снижение относительной доли облигатно анаэробных грамотрицательных бактерий рода *Cetobacterium* (семейство *Fusobacteriaceae*, класс *Fusobacteriia*, филум *Fusobacteriota*) и факультативно-анаэробных грамположительных палочек рода *Culicoidibacter* (семейство *Erysipelotrichaceae*, класс *Bacilli*, филум *Bacillota*). Снижение доли рода *Cetobacterium* следует рассматривать как неблагоприятное изменение, поскольку он известен своей пробиотической и антагонистической активностью, а также способностью синтезировать витамин B_{12} [14, 15]. Кроме того, установлено что доля этих бактерий в кишечнике адаптивно возрастает при добавлении пробиотиков, что сопровождается более эффективным усвоением пищи [16].

Добавление в рацион карпа ультрадисперсных частиц меди в концентрациях 0,4 или 0,2 ppm привело к существенному увеличению альфа-разнообразия по индексу Шеннона и Симпсона. Хотя увеличение альфа-разнообразия следует рассматривать как благоприятные изменения, это не сопровождалось существенными сдвигами соотношений бактериальных таксонов в микробиоте кишечника карпа. Однако, отмечено снижение доли рода *Cetobacterium*, семейства *Fusobacteriaceae*, класса *Fusobacteriia*, филы *Fusobacteriota*, что можно рассматривать как неблагоприятные изменения с учетом перечисленных выше функций этих бактерий в кишечнике.

Добавление в рацион карпа ультрадисперсных частиц марганца в концентрациях 0,4 или 0,2 ppm сопровождалось незначительными изменениями состава кишечной микробиоты. В частности, добавка марганца в концентрации 0,4 ppm сопровождалась возрастанием доли бактерий рода *Aeromonas* (семейство *Aeromonadaceae*, класс *Gammaproteobacteria*, фила *Pseudomonadota*) и появлением рода *Kingella* (семейство *Neisseriaceae*) в кишечном микробиоме. Добавка марганца в концентрации 0,2 ppm, напротив, приводила к снижению доли рода *Aeromonas* и соответствующих ему таксонов более высокого ранга в кишечном микробиоме.

Заключение. Таким образом, наилучшие показатели по росту и составу кишечной микробиоты были выявлены в III группе, где в качестве кормовой добавки использовался нанокомпозит меди в дозировке 0,2 ppm.

Conclusions. Thus, the best indicators for the growth and composition of intestinal microbiota were identified in group III, where copper nanocomposite was used as a feed additive at the dosage of 0.2 ppm.

Библиографический список

1. Clinton M. et al. Sampling the fish gill microbiome: a comparison of tissue biopsies and swabs. BMC Microbiol. 2021. No 21 (1). Art. 313.
2. Tay D. D. et al. The Relationship between the Gut Microbiome and the Aqua Cultured Fish, General Prospects Toward Fish Health: a Systematic Review. Appl Biochem Biotechnol. 2025. No 197 (10). Pp. 6314-6357.
3. Xia J. H. et al. The intestinal microbiome of fish under starvation. BMC Genomics. 2014. No 5. V. 15. Art. 266.
4. Дмитриев Н. О., Салаутин В. В., Салаутина С. Е. Влияние кормовой добавки на микроморфометрию и микробиом кишечника бройлеров. Аграрный вестник Урала. 2023. № 02 (231). С. 62-70.
5. Лебедева Т. И., Красочко И. А., Красочко П. А. Влияние ветеринарных препаратов на основе наночастиц микроэлементов на здоровье животных и качество продукции. Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 2 (54). С. 73-79.

6. Аринжанова М. С., Мирошников И. С., Рязанов В. А., Соболева Н. В. Применение магния в кормлении сельскохозяйственных животных и птиц (обзор). Известия НВ АУК. 2024. № 6 (78). С. 255-265.
7. Мирошникова Е. П., Клычкова М. В., Аринжанов А. Е. Практикум по кормлению рыб. Оренбург: ОГУ, 2016. 127 с.
8. Fadl S. E. et al. Trial for reduction of Ochratoxin A residues in fish feed by using nano particles of hydrated sodium aluminum silicates (NPsHSCAS) and copper oxide. Toxicon. 2020. V. 184. Pp. 1-9.
9. Dawood M. A. O. et al. Copper Nanoparticles Mitigate the Growth, Immunity, and Oxidation Resistance in Common Carp (Cyprinus carpio). Biol Trace Elem Res. 2020. V. 198 (1). Pp. 283-292.
10. Zhang L., Liu Z., Deng Y., He C., Liu W., Li X. The Benefits of Nanosized Magnesium Oxide in Fish *Megalobrama amblycephala*: Evidence in Growth Performance, Redox Defense, Glucose Metabolism, and Magnesium Homeostasis. Antioxidants (Basel). 2023. No 2. V. 12 (7). Art. 1350.
11. Hussain R., Naz S., Alam S. et al. Temporal and dosage impact of magnesium oxide nanoparticles on grass carp: unveiling oxidative stress, DNA damage, and antioxidant suppression. Toxicol Mech Methods. 2025. No 35 (1). Pp. 19-31.
12. Nalage R. R., Thorat S. T., Chandramore K., Reddy K. S., Kumar N. Dietary manganese nano-particles improves gene regulation and biochemical attributes for mitigation of lead and ammonia toxicity in fish. Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. 2024. No 276. Art. 109818.
13. Мингазова М. С. и др. Действие нанокомпозита марганца на организм карпа. Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 8. С. 96-102.
14. Suzuki A., Shirakata C., Anzai H., Sumiyama D., Suzuki M. Vitamin B_{12} biosynthesis of *Cetobacterium ceti* isolated from the intestinal content of captive common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Microbiology (Reading). 2022. No 168 (9).
15. Qi X,. Zhang Y., Zhang Y., Luo F., Song K., Wang G., Ling F. Vitamin B_{12} produced by Cetobacterium somerae improves host resistance against pathogen infection through strengthening the interactions within gut microbiota. Microbiome. 2023. No 15. V. 11 (1). Art. 135.
16. Wang Z., Zhang C., Lu K., Song K., Li X., Wang L., Rahimnejad S. Effects of Supplementing Intestinal Autochthonous Bacteria in Plant-Based Diets on Growth, Nutrient Digestibility, and Gut Health of Bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*). Front Microbiol. 2021. No 5. V. 12. Art. 739572.

References

1. Clinton M. et al. Sampling the fish gill microbiome: a comparison of tissue biopsies and swabs. BMC Microbiol. 2021. No 21 (1). Art. 313.
2. Tay D. D. et al. The Relationship between the Gut Microbiome and the Aqua Cultured Fish, General Prospects Toward Fish Health: a Systematic Review. Appl Biochem Biotechnol. 2025. No 197 (10). Pp. 6314-6357.
3. Xia J. H. et al. The intestinal microbiome of fish under starvation. BMC Genomics. 2014. No 5. V. 15. Art. 266.
4. Dmitriev N. O., Salautin V.V., Salautina S.E. Effect of feed additive on micro morphometry and intestinal microbiome of broilers. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No 02 (231). Pp. 62-70.
5. Lebedeva T. I., Krasochko I. A., Krasochko P. A. The influence of veterinary drugs based on microelement nanoparticles on animal health and product quality. Bulletin of the Upper Volga APK. 2021. No 2 (54). Pp. 73-79.
6. Arinzhanova M. S., Miroshnikov I. S., Ryazanov V. A., Soboleva N. V. Use of magnesium in feeding farm animals and birds (review). Proceedings of the NV AUC. 2024. No 6 (78). Pp. 255-265.
7. Miroshnikova E. P., Klychkova M. V., Arinzhanov A. E. Practical training in fish feeding. Orenburg State University. Orenburg: OSU, 2016. 127 p.
8. Fadl S. E. et al. Trial for reduction of Ochratoxin A residues in fish feed by using nano particles of hydrated sodium aluminum silicates (NPsHSCAS) and copper oxide. Toxicon. 2020. V. 184. Pp. 1-9.
9. Dawood M. A. O. et al. Copper Nanoparticles Mitigate the Growth, Immunity, and Oxidation Resistance in Common Carp (Cyprinus carpio). Biol Trace Elem Res. 2020. V. 198 (1). Pp. 283-292.
10. Zhang L., Liu Z., Deng Y., He C., Liu W., Li X. The Benefits of Nanosized Magnesium Oxide in Fish Megalobrama amblycephala: Evidence in Growth Performance, Redox Defense, Glucose Metabolism, and Magnesium Homeostasis. Antioxidants (Basel). 2023. No 2. V. 12 (7). Art. 1350.
11. Hussain R., Naz S., Alam S. et al. Temporal and dosage impact of magnesium oxide nanoparticles on grass carp: unveiling oxidative stress, DNA damage, and antioxidant suppression. Toxicol Mech Methods. 2025. No 35 (1). Pp. 19-31.
12. Nalage R. R., Thorat S. T., Chandramore K., Reddy K. S., Kumar N. Dietary manganese nano-particles improves gene regulation and biochemical attributes for mitigation of lead and ammonia toxicity in fish. Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol. 2024. No 276. Art. 109818.
13. Mingazova M. S. et al. The effect of manganese nanocomposite on the carp organism. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2025. V. 39. No 8. Pp. 96-102.
14. Suzuki A., Shirakata C., Anzai H., Sumiyama D., Suzuki M. Vitamin B12 biosynthesis of Cetobacterium ceti isolated from the intestinal content of captive common bottlenose dolphins (Tursiops truncatus). Microbiology (Reading). 2022. No 168 (9).
15. Qi X,. Zhang Y., Zhang Y., Luo F., Song K., Wang G., Ling F. Vitamin B12 produced by Cetobacterium somerae improves host resistance against pathogen infection through strengthening the interactions within gut microbiota. Microbiome. 2023. No 15. V. 11 (1). Art. 135.
16. Wang Z., Zhang C., Lu K., Song K., Li X., Wang L., Rahimnejad S. Effects of Supplementing Intestinal Autochthonous Bacteria in Plant-Based Diets on Growth, Nutrient Digestibility, and Gut Health of Bullfrogs (Lithobates catesbeianus). Front Microbiol. 2021. No 5. V. 12. Art. 739572.

Информация об авторах

Килякова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), https://orcid.org/0000-0002-2385-264X, e-mail: fish-ka06@mail.ru

Мирошникова Елена Петровна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), https://orcid.org/0000-0003-3804-5151, e-mail: elenaakva@rambler.ru
Аринжанов Азамат Ерсаинович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), https://orcid.org/0000-0001-6534-7118, e-mail: arin.azamat@mail.ru
Буланин Дмитрий Иванович, заведующий лабораторией, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет имени В. А. Бондаренко» (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), аспирант, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской Академии наук (Российская Федерация, 460018, г. Оренбург, проспект Победы, 13), https://orcid.org/0000-0001-3574-0880, e-mail: bulanin.dmitry@gmail.com

Authors' Information

Kilyakova Julia Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Orenburg State University named after V. A. Bondarenko (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Ave., 13), https://orcid.org/0000-0002-2385-264X, e-mail: fish-ka06@mail.ru
Miroshnikova Elena Petrovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department, Orenburg State University named after V. A. Bondarenko (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Ave., 13), https://orcid.org/0000-0003-3804-5151, e-mail: elenaakva@rambler.ru
Arinzhanov Azamat Ersainovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Orenburg State University named after V. A. Bondarenko (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Ave., 13), https://orcid.org/0000-0001-6534-7118, e-mail: arin.azamat@mail.ru
Bulanin Dmitry Ivanovich, Head of the Laboratory, Orenburg State University named after V. A. Bondarenko (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Ave., 13); postgraduate student, Federal Research Centre of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460018, Orenburg, Pobedy Ave., 13), https://orcid.org/0000-0001-3574-0880, e-mail: bulanin.dmitry@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-47

THE EFFECT OF THE BEE QUEEN COMPLETE ISOLATION BEFORE HONEY COLLECTION ON THE PRODUCTIVITY AND DEVELOPMENT OF THE BEES

Chuchunov V. A., Zlepkin V. A.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: chuchunov.78@mail.ru

Received 06.04.2026 Submitted 15.07.2026

Summary

The main task of beekeepers is to ensure the growth of bee mass for honey production and, consequently, its efficient use. As is well known, during the flowering of strong nectar-producing plants, a portion of the worker bees is engaged in collecting nectar, and often a significant portion of the family is responsible for feeding the brood. Our research focuses on exploring the possibility of releasing a portion of the bees that are caring for the brood and redirecting them to collecting nectar. Our findings indicate that families where the queen was completely isolated were more effective in utilizing the strong spring honey flow. However, it should be noted that the isolation of the queen led to some involution of the bee family, and the bees were less prepared for winter. This technology, which involves completely isolating the queen before the main honey flow, can be used in areas with a weak honey production base.

Abstract

Introduction. The task of beekeepers in the early spring period is to ensure an increase in the bee mass by the main honey flow in order to effectively use nectar-bearing plants. To achieve this, a number of technological methods, materials, and equipment are used in apiaries. As is known, even in the most prepared families, during the collection of nectar, a significant portion of the working bees is not involved in this process, as they are busy with tasks related to the needs of the brood. Our research focuses on studying the possibility of releasing the part of the worker bees that provides for the needs of the brood during the flowering of the main nectariferous plant and redirecting them to collect nectar. **Object.** As the objects of research, we used bee colonies in which we completely isolated the queens at the time of the main honey flow, using Titov's cages, thereby completely preventing them from laying eggs, and colonies in which we limited the work of the queens only in the nesting body using the Ganiman lattice. **Materials and methods.** In the conditions of the apiary of the Volgograd region, in 2025-2026, we conducted research to assess the possibility of complete isolation of bee queens at the time of the main honey flow and the subsequent dynamics of the development of bee colonies. In our experiment, the families selected using the pair-analogue method were evaluated based on their productivity, development, and wintering performance. At the end of the experiment, we provided economic analysis of the use of complete isolation technology for bee queens and practical recommendations. **Results and conclusions.** During the research, we noted that the families where the queen was completely isolated used the strong spring nectariferous plant Robinia pseudoacacia (Robínia pseudoacácia) better, collecting 10.9 kg of honey more than the control families. We also noted that the complete isolation of the queen led to some involution of the bee colonies, which affected their poor winter preparation and average wintering performance. We believe that this technology, with complete isolation of the uterus before the main honey flow, can be applied in areas with a weak honey base and a short flight period.

Keywords: *пчеловодство, технологии содержания пчел, продуктивность пчел.*

Citation. Chuchunov V. A., Zlepkin V. A. The effect of the bee queen complete isolation before honey collection on the productivity and development of the bees. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 421-429. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-47.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the final version presented.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interes

УДК 638.142

ВЛИЯНИЕ ПОЛНОЙ ИЗОЛЯЦИИ МАТКИ ПЕРЕД МЕДОСБОРОМ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И РАЗВИТИЕ ПЧЕЛ

Чучунов В. А., *кандидат биологических наук, доцент*
Злепкин В. А., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Задачей пчеловодов в ранневесенний период является обеспечение увеличения пчеломассы к главному взятку с целью эффективного использования нектароносов. Для этого на пасеках используют ряд технологических приёмов, материалов и оборудования. Как известно, даже в самых подготовленных семьях во время сбора нектара значительная часть рабочих особей не вовлечена в данный процесс, так как загружена работой, связанной с обеспечением потребностей расплода. Наши исследования посвящены изучению возможности высвобождения на время цветения основного нектароноса той части рабочих пчёл, которая обеспечивает потребности расплода и переориентация их на сбор нектара. **Объект.** В качестве объектов исследования нами использовались пчелиные семьи, в которых мы полностью изолировали маток на момент главного взятка, используя клеточки Титова, полностью препятствуя тем самым откладку ими яиц, и семьи, в которых ограничивали работу маток только лишь в гнездовом корпусе посредством Ганимановской решётки. **Материалы и методы.** В условиях пасеки Волгоградской области нами в 2025-2026 годах были проведены исследования по оценки возможности полной изоляции пчелиных маток на момент главного взятка и последующей динамики развития пчелиных семей. В нашем эксперименте семьи, отобранные по методу пар-аналогов, оценивались по уровню продуктивности, развитию и зимовке; по завершении эксперимента дана экономическая эффективность применения технологии полной изоляции пчелиных маток и практические рекомендации. **Результаты и выводы.** В ходе исследований нами отмечалось, что семьи, где матка была полностью изолирована, лучше использовали сильный весенний нектаронос – робинию обыкновенную (Robínia pseudoacácia), собрав на 10,9 кг мёда больше чем в контрольных семьях. Также нами отмечалось, что полная изоляция матки привела к некоторой инволюции пчелиных семей, это повлияло на слабую подготовку их к зиме и средние показатели зимовки. Данная технология при полной изоляции матки перед главным взятком, как мы считаем, может быть применена в районах со слабой медоносной базой и коротким сроком безоблётного периода.

Ключевые слова: *пчеловодство, технологии содержания пчел, продуктивность пчел.*

Цитирование. Чучунов В. А., Злепкин В. А. Влияние полной изоляции матки перед медосбором на продуктивность и развитие пчел. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 421-429. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-47.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Выбор пчеловодом оптимальной организации пчеловождения с учетом технологических приемов содержания оборудования определяет рост и развитие пчелиных семей и в конечном итоге их продуктивность за сезон [2, 3, 5].

Существование пчелиной колонии чередуется фазами пассивного и активного состояния, зависящими от факторов внешней среды и биологических особенностей семьи. Так, по окончании зимовки, пока не образуются имаго первой весенней генерации, семьи характеризуются наименьшим количеством пчел, так как зимой матка не откладывает яйца, а народившиеся в конце лета и осенью пчелы постепенно отмирают во время зимовки [1, 4, 6]. Ранней весной, когда матка начинает засев и через 21 день после начала яйце-

кладки нарождается молодая пчела, тенденция к снижению численности имаго в семье прекращается. Зимовалая пчела вследствие снижения активности желез, вырабатывающих маточное молоко, способна вырастить себе на замену только одну рабочую особь, при этом развития семьи не происходит. А прогрессивное увеличение числа пчел в семье осуществляется, когда полностью сменяется зимовалая пчела на пчелу весенней генерации, которая способна вырастить себе на замену четыре молодые особи [12, 13]. На пике своего развития в конце весны – начале лета в семьях в геометрической прогрессии увеличивается количество пчел, при этом количество народившихся особей значительно превосходит число отмерших, и их численность в разы превышает численность после выхода семьи из зимовки. В период основного сбора нектара и формирования медовых запасов из-за высокой нагрузки, связанной с выкармливанием расплода и переработкой нектара в мед, продолжительность жизни летной пчелы резко сокращается, что приводит к значительному сокращению их численности в семье. К осени для успешной зимовки семьи происходит некоторое восполнение количества утраченных пчел. Такой жизненный цикл семьи позволяет сформировать медовые запасы, используя потенциал нектароносов и эффективно экономить корма в экстремальных зимних условиях [7, 8, 11].

Материалы и методы. В условиях кочевых пасек нами в основном применяются ульи Дадана-Блата, семьи в которых при их развитии расширяются по вертикали; в работе ульи данной конструкции очень удобны. Они хорошо зарекомендовали себя на пасеках, расположенных в зонах с умеренным и континентальным климатом. В период зимовки семьи формируют клуб в гнездовом корпусе улья; с приближением весны для поддержки пчел их следует подкормить. При наступлении теплой погоды пчел выставляют из амшанников, а на следующий день после очистительного облета семьи осматривают, чистят донья, пополняют кормовые запасы, сокращают и утепляют гнездо. Через 2-3 недели после выставки пчел производят пополнение кормовых запасов и при необходимости подставляют маломедные рамки или сушь. Вощиной расширять семью можно в том случае, когда сменится зимовалая пчела на пчелу весенней генерации, при условии наличия в природе хотя бы поддерживающего взятка, и сила семьи должна быть не менее 35-40 тыс. пчел. По достижении силой семьи уровня 50-60 тыс. пчел, пчеловод для сбора товарного меда на корпуса улья может располагать магазинные надставки с полурамками или дополнительные корпуса. Насекомые, подчиняясь инстинктам природы, готовясь к зимовке, заполняют рамки нектаром, постепенно превращая его в мед. Как только медовый корпус или магазин полностью будет залит медом, а соты будут запечатаны пчелами, его забирают на откачку, а на его место устанавливают корпус с сушью [9, 10, 14].

Целью наших исследований явилась оценка возможности полной изоляции пчелиной матки перед главным медосбором, обеспечив тем самым высвобождение пчел, осуществляющих уход за расплодом, и переориентация их на сбор нектара.

В связи с этим задачами наших исследований стали:

- изучение уровня медопродуктивности семей с полным ограничением матки в яйцекладке;
- изучение особенностей развития семей;
- сравнительный анализ экономической эффективности применения данной технологии.

В ходе проведения наших исследований нами были сформированы по методу пар аналогов 2 группы по 5 семей пчел в каждой. За семь дней до главного взятка с робинии обыкновенной (Robínia pseudoacácia) в опытных семьях производили полную изоляцию матки посредством клеточки Титова, куда вместе с маткой для ее обслуживания помещали 3-5 рабочих пчел. В контрольных ульях матке ограничили пространство для червления в гнездовом корпусе, отделив его от магазинных надставок ганимановской решёткой. На 9-й день после изоляции матки в опытных семьях произвели удаление свищевых маточников. После окончания цветения нектароноса (28 дней после изоляции матки) матку выпускали в гнездовой корпус, ограничивая ее по схеме контрольных групп. Учет медовой продуктивности производили по окончании взятка, взвешивая изымаемые медовые рамки на электронных весах за минусом 0,5 кг (вес деревянной рамки и воска сота). Развитие семей определяли посредством их осмотра, при этом силу семьи устанавливали по количеству рамок с обеих сторон сота, плотно обсиженных пчелами. Яичную продуктивность матки за сутки определяли по общепринятой методике, в соответствии с которой производили оцен-

ку площади сот, занятых печатным расплодом. Для этого на оцениваемую рамку с печатным расплодом накладывали лекало с натянутой металлической сеткой, размер ячеек которой 5 см × 5 см. После подсчета общего количества квадратов с печатным расплодом в семье умножали полученную сумму на 100 (в каждой ячейке такой рамки 25 см^2 располагается 100 пчелиных ячеек) и делили полученный результат на 12 (продолжительность стадии закрытого расплода рабочих пчел в днях). Зимний отход пчел определяли по разности между количеством сот с пчелами перед началом зимовки и по количеством после первого очистительного облета, разницу выражали в %.

Схема проведенных нами исследований представлена на рисунке 1.

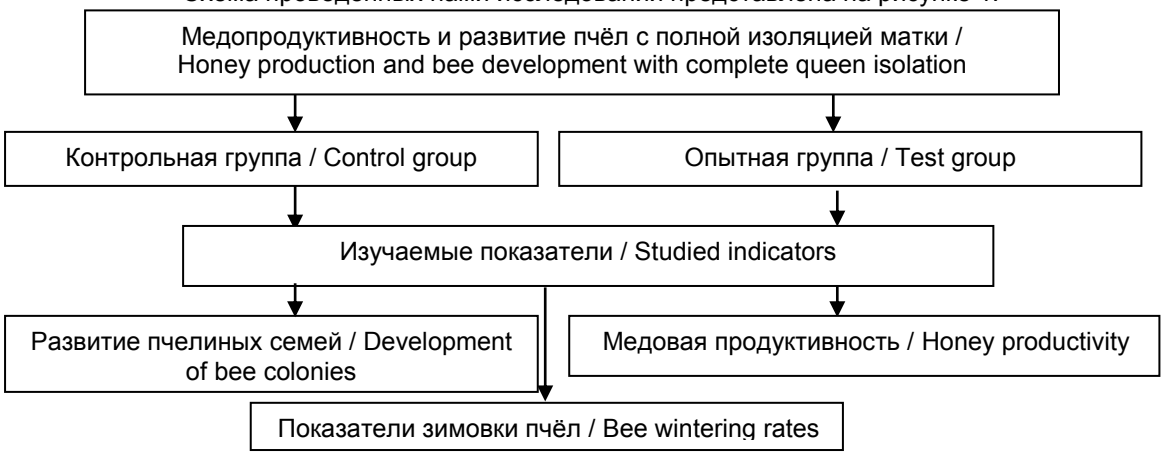


Рисунок 1 – Схема проведения исследований
Figure 1 – Research scheme

Результаты и обсуждение. Матка пчел на пике продуктивности способна откладывать в ячейки 2000 яиц и более за сутки. Количество и качество откладываемых маткой яиц будут зависеть от ряда факторов, таких как сезон года, сила семьи, физиологическое состояние и возраст матки, присутствие в природе цветущих нектароносов, породные характеристики пчелы, а также условия и применяемые технологии содержания пчел. При оценке яичной продуктивности пчелиной матки пользуются специальным лекалом. Подсчет количества печатного расплода при определении суточной яйценоскости маток представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Подсчет количества печатного расплода при определении суточной яйценоскости маток
Figure 2 – Counting the number of printed brood when determining the daily egg production of hens

В ходе нашего эксперимента нами изучалась динамика среднесуточной продуктивности пчелиных маток, данные которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Яйценоскость пчелиных маток в течение сезона (n = 5)
Table 1 – Egg production of bee queens during the season (n=5)

Группа / Group	Дата осмотра / Inspection date	Сила семьи, улочка / Family strength	Среднесуточная яйценоскость матки, шт. / Average daily egg production of the hen, pcs.	Группа / Group	Дата осмотра / Inspection date	Сила семьи, улочка / Family strength	Среднесуточная яйценоскость матки, шт. / Average daily egg production of the hen, pcs.
март / March				июль / July			
Опытная / Experimental	18	6,3	-	Опытная / Experimental	28	10,5	478,3
Контрольная / Control	18	6,1	-	Контрольная / Control	28	13,6	1608,9
апрель / April				август / August			
Опытная / Experimental	3	7,2	-	Опытная / Experimental	1	10,4	945,3
Контрольная / Control	3	7,1	-	Контрольная / Control	1	15,3	1506,6
Опытная / Experimental	19	11,4	557,5	Опытная / Experimental	18	8,8	1244,8
Контрольная / Control	19	11,8	431,0	Контрольная / Control	18	10,6	1317,1
май / May				сентябрь / September			
Опытная / Experimental	6	14,6	947,3	Опытная / Experimental	3	8,7	1034,0
Контрольная / Control	6	15,1	891,4	Контрольная / Control	3	10,7	893,2
Опытная / Experimental	22	16,2	1648,3	Опытная / Experimental	21	8,5	722,6
Контрольная / Control	22	16,1	1596,3	Контрольная / Control	21	10,3	595,9
июнь / June				октябрь / October			
Опытная / Experimental	8	17,8	1769,1	Опытная / Experimental	26	6,5	0
Контрольная / Control	8	17,4	1258,2	Контрольная / Control	26	7,9	0
Опытная / Experimental	24	12,5	-				
Контрольная / Control	24	14,3	1673,0				

Оценивая яичную продуктивность пчелиных маток опытных и контрольных семей, данные которой в динамике отображены в таблице 1, нами фиксировалось, что в период ранневесеннего развития опытные семьи наращивали силу в среднем несколько быстрее, чем контрольные; это связано с индивидуальными биологическими особенностями отдельных семей. После полной изоляции маток посредством использования клеточки Титова количество расплода через 24 дня в семье снизилось до 0. После главного взятка, когда маток освободили и выпустили в гнездовой корпус, количество расплода, хотя и не в той степени, как в контроле, начало восполняться. К осени из-за перерыва в червлении маток, контрольные ульи недобрали пчеломассы.

Результаты наших исследований по развитию пчелиных семей представлены на рисунке 2.

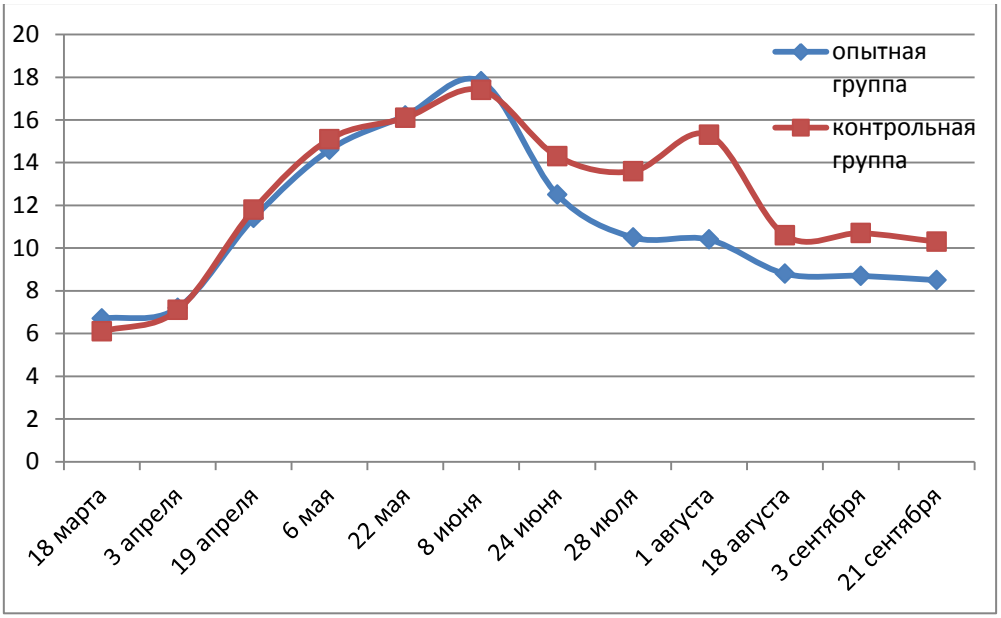


Рисунок 3 – Динамика развития пчелиных семей
Figure 3 – Dynamics of bee family development

Анализируя рисунок 3, нами было отмечено, что во время весеннего развития пчелиных семей опытные и контрольные группы развивались практически одинаково, и к началу главного взятка сила семей составляла около 16 рамок. Через 32 дня после изоляции матки в опытных семьях сила семей резко уменьшилась до 12,5 рамок, что связано с невосполнением отмерших на медосборе пчел; и хотя маток и выпустили на 28-й день после изоляции, обеспечить прирост пчелы, как это было в контрольных семьях, не удалось, и в зиму опытные семьи пошли в несколько ослабленном состоянии.

Оценка медовой продуктивности заключается в определении валового производства мёда.



Рисунок 4 – Работа пчел на Робинии обыкновенной (Robínia pseudoacácia)
Figure 4 – Bees working on Robinia pseudoacacia

Продуктивные качества контрольных и опытных семей, представленнае в таблице 2, свидетельствуют, что в опытных группах, где производилась полная изоляция маток, на откачку было отобрано 14,8 рамок с медом, в то время как в контрольных семьях удалось забрать только 11,7 медовых рамок. Пчелам опытных групп удалось лучше использовать

ранние нектароносы (акацию), так как практически вся летная пчела участвовала в сборе нектара, в отличие от контрольных групп, где пчелы обеспечивали еще и выращивание расплода, что отразилось на более низкой продуктивности. Так семьи, в которых были проведены работы по полной изоляции маток, собрали меда на 10,9 кг или 19,9 % больше в сравнении с семьями, где маток посредством применения ганимановской решётки ограничили гнездовым корпусом.

Таблица 2 – Оценка продуктивности пчелиных семей (n = 5)
Table 2 – Honey productivity of bee colonies (n = 5)

Группа / Group	Количество стандартных сторамок с медом, шт. / Number of standard honeycombs, pcs.	Получено товарного меда, кг / Amount of commercial honey produced, kg
Опытная / Experimental	14,8 ± 0,74	54,6 ± 3,22
Контрольная / Control	11,7 ± 0,62	43,7 ± 3,16

Оценка показателей экономической эффективности производства продукции пчеловодства с применением технологии полной изоляции матки представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Экономическая эффективность производства меда
Table 3 – Economic efficiency of honey production

Показатели / Indicators	Опытная / Experimental	Контрольная / Control
Цена реализации руб. за кг / Sale price per kg, RUB	470	470
Полные издержки, руб. / Total costs, RUB	300	300
Прибыль на 1кг, руб. / Profit per 1 kg, RUB	170	170
Получено товарного мёда с 1семьи, кг / Productive honey from 1 family, kg	54,6	43,7
Прибыль в расчете на 1 семью, тыс. руб. / Profit per 1 family, thousand RUB	9282	7429

Экономическая эффективность характеризует успешность хозяйственной деятельности предприятия. Нами отмечалось, что изоляция матки перед главным медосбором при прочих равных издержках позволила получить больше товарного меда. При цене реализации меда в 470 рублей за кг разница в доходе, полученном на семью между контрольной и опытной группами, составляла 1853 рубля.

Продолжая исследования, нами были изучены показатели зимовки пчел. После формирования зимнего клуба семьи двукратно с интервалом в две недели обрабатывали противопаразитарным препаратом «Бипин». Зимовка пчел происходила в условиях улицы без использования утепления, а в конце зимы осуществляли подкормку «канди» и утепляли гнезда. После очистительного облета сократили гнезда и обеспечили электрообогрев. Оцениваемые показатели зимовки пчел представлены в таблице 4.



Рисунок 5 – Оценка количества пчел перед зимовкой
Figure 5 – Estimation of the number of bees before wintering

Таблица 4 – Оценка качества зимовки пчел
Table 4 – Assessment of bee wintering quality

Группа / Group	Количество рамок с пчелами, пошедшими на зимовку (стандартная рамка) 2025 год / Number of frames with bees that went into hibernation (standard frame) 2025	Количество рамок с пчелами, вышедшими из зимовки (стандартная рамка) 2026 год / Number of frames with bees that came out of hibernation (standard frame) 2026	% отхода пчел за зиму / % of bee mortality during the winter
Опытная / Experimental	6,5 ± 0,12	5,4 ± 0,22	16,9
Контрольная / Control	7,9 ± 0,17	6,9 ± 0,21	12,7

По данным таблицы 4, отмечалось, что в зиму опытные группы пчелиных семей уходили в несколько ослабленном состоянии, разница с контролем составляла 1,4 стандартные рамки. Зимовка семей проходила спокойно, но в опытных семьях по сравнению с контролем больше наблюдался отход пчел, разница которого составила 4,2 %. Во время весенней ревизии в опытных группах пчелы обсиживали 5,4, а в контрольных – 6,9 стандартных рамок.

Заключение. Проведя комплексные исследования возможности полной изоляции пчелиных маток на время главного взятка и дальнейшую оценку развития семей, нами установлено, что опытные семьи, где в результате нашего эксперимента дополнительно высвобождалась летная пчела (которая в контрольных ульях обеспечивала потребности расплода), лучше использовали ранние нектароносы, произведя меда на 19,9 % больше. Это позволило получить дополнительный доход в размере 1 853 руб. на семью. Негативным моментом полной изоляции матки является значительное ослабление семьи к окончанию медосбора, формирование слабых семей к зиме и качество зимовки. В связи с чем технология, предусматривающая полную изоляцию матки на время цветения основного нектароноса, имеет место в условиях слабой медоносной базы региона, когда в природе присутствует в основном один сильный взяток.

Conclusion. After conducting comprehensive research on the possibility of complete isolation of bee queens during the main honey flow, and further assessing the development of the families, we found that the experimental families, where the flight bee was additionally released as a result of our experiment (which provided the needs of the brood in the control hives), used early nectar sources better, producing 19.9 % more honey. This resulted in an additional income of 1,853 rubles per family. The negative aspect of complete isolation of the queen is that it significantly weakens the family by the end of the honey harvest, leading to the formation of weak families during the winter and affecting the quality of the wintering period. Therefore, the technology that involves complete isolation of the queen during the flowering of the main nectariferous plant is applicable in regions with a limited honey production base, where there is only one strong honey flow in nature.

Библиографический список

1. Велкова Н. И., Наумкин В. П. Пчелы на медосборе с горчицы белой. Пчеловодство. 2025. № 1. С. 16-18.
2. Збанацкий О. В., Кудашев А. И. Концепция развития пчеловодства в Российской Федерации. Пчеловодство. 2025. № 7. С. 50-52.
3. Злепкин В. А. и др. Сравнительный анализ использования ульев из пенополистирола и дерева. Пчеловодство. 2022. № 7. С. 22-24.
4. Злепкин В. А. и др. Использование разных типов ульев в условиях Волгоградской области. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (43). С. 113-120.
5. Карпунин В. П. Новые вызовы диктуют новые подходы к организации пчеловодного дела! Пчеловодство. 2024. № 1. С. 4-6.
6. Лебедев В. И. Уход за пчелами в различных ульях. Пчеловодство. 2025. № 8. С. 42-43.
7. Маннапов А. Г. и др. Влияние структуры гнезд, способа осеменения и стимулирующих подкормок на качество маток. Пчеловодство. 2024. № 7. С. 12 - 14.
8. Радзиевский Е. Б. и др. Сравнительная оценка использования при пчеловождении ульев, изготовленных из пенополистирола и дерева. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 391-399.
9. Радзиевский Е. Б. и др. Сравнительная оценка использования разных типов ульев. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3 (67). С. 379-388.
10. Радзиевский Е. Б. и др. Экономическая эффективность лечения медоносных пчел от варроатоза при ведении органического животноводства. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 300-311.
11. Свистунов С. В. и др. Продуктивность пчёл карпатской и серой горной кавказской пород в Республике Адыгея. Пчеловодство. 2025. № 2. С. 14-16.
12. Таранова Г. Ф. Подготовка к зимовке. Пчеловодство. 2025. № 9. С. 38-40.

13. Чучунов В. А. и др. Медопродуктивность пчелиных семей с полной изоляцией матки. Пчеловодство. 2026. № 2. С. 12-13.
14. Чучунов В. А. и др. Регулируемый обогрев расплодной части гнезда пчел при ранневесеннем развитии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 372-378.

References

1. Velkova N. I., Naumkin V. P. Bees on honey collection from white mustard. Beekeeping. 2025. No 1. Pp. 16-18.
2. Zbanatsky O. V., Kudashev A. I. The concept of the development of beekeeping in the Russian Federation. Beekeeping. 2025. No 7. Pp. 50-52.
3. Zlepkin V. A. et al. Comparative analysis of the use of beehives made of expanded polystyrene and wood. Beekeeping. 2022. No 7. Pp. 22-24.
4. Zlepkin V. A. et al. Use of different types of beehives in the conditions of the Volgograd Region. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2022. No 1 (43). Pp. 113-120.
5. Karpunin V. P. New challenges dictate new approaches to the organization of beekeeping! Beekeeping. 2024. No 1. Pp. 4-6.
6. Lebedev V. I. Caring for bees in various hives. Beekeeping. 2025. No 8. Pp. 42-43.
7. Mannapov A. G. et al. Influence of the structure of the nests, the method of settlement and stimulating feeding on the quality of the queens. Beekeeping. 2024. No 7. Pp. 12-14.
8. Radzievsky E. B. et al. Comparative assessment of the use of beehives made of expanded polystyrene and wood in beekeeping. Proceedings of the NV Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 1 (69). Pp. 391-399.
9. Radzievsky E. B. et al. Comparative assessment of the use of different types of beehives. Proceedings of the NV Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No 3 (67). Pp. 379-388.
10. Radzievsky E. B. et al. Economic efficiency of honey bee treatment for varroa mites in organic animal husbandry. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No 3 (63). Pp. 300-311.
11. Svistunov S. V. et al. Productivity of bees of the Carpathian and Grey Mountain Caucasian breeds in the Republic of Adygea. Beekeeping. 2025. No 2. Pp. 14-16.
12. Taranova G. F. Preparation for wintering. Beekeeping. 2025. No 9. Pp. 38-40.
13. Chuchunov V. A. et al. Honey productivity of bee colonies with complete isolation of the queen. Beekeeping. 2026. No 2. Pp. 12-13.
14. Chuchunov V. A. et al. Regulated Heating of the Brood Part of the Bee Nest during Early Spring Development. Proceedings of the NV Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 3 (81). Pp. 372-378.

Информация об авторах

Чучунов Василий Александрович, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), https://orcid.org/0000-0002-3569-5725, e-mail: chuchunov.78@mail.ru
Злепкин Виктор Александрович, доцент кафедры, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), https://orcid.org/0000-0002-0804-7634, e-mail: vzlepkin@mail.ru

Authors' Information

Chuchunov Vasily Aleksandrovich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3569-5725, e-mail: chuchunov.78@mail.ru
Zlepkin Viktor Alexandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), https://orcid.org/0000-0002-0804-7634, e-mail: vzlepkin@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-48

THE SYNBIOTIC FEED ADDITIVE EFFECT ON THE STERLET PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL STATUS

[1]Kozubov A. S., [1]Tsvetkov O. E., [1]Koshchaev A. G., [2]Ryadnov A. A.

[1]Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ackozubov@gmail.com

Received 20.06.2026 Submitted 30.06.2026

Summary

The article studies the effect of various dosages of a synbiotic feed additive (Bacillus subtilis B−945, inulin, lactulose) on the physiological and biochemical status of juvenile sterlet. The 3 % dosage had a moderate positive effect; the 5 % dosage provided the best results, whereas the 7 % dosage caused adverse changes. For industrial sturgeon farming, the 5 % dosage is recommended.

Abstract

Introduction. Intensive fish farming technologies in recirculating aquaculture systems, the use of high-energy compound feeds, and high stocking densities create preconditions for the development of dysbiotic disorders, inflammatory processes in the intestine, and fatty liver dystrophy, which leads to decreased productivity and increased mortality. **Object.** The object of research is a synbiotic feed additive based on *Bacillus subtilis* B-945, inulin and lactulose and its effect on biochemical and hematological blood parameters, as well as the histomorphological structure of the liver and intestine of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*). **Materials and methods.** The study was conducted on sterlet fingerlings (n=200 in each group) in a recirculating aquaculture system at a water temperature of 21 °C for 90 days. The synbiotic was administered at dosages of 3, 5 and 7 % of the feed weight. Biochemical parameters of blood serum were determined using a DIRUI CS-600 automatic analyzer, hematological parameters – by conventional methods, histological sections of the liver and hindgut were stained with hematoxylin-eosin. **Results and conclusions.** In the course of studies to substantiate the use of the feed additive, it was found that at a dose of 3 %, serum total protein increased by 26.7 %, but foci of fatty degeneration and coagulation necrosis were detected in the liver. A dose of 5 % increased total protein by 15.8 % with transaminase activity at the control level and a normal histological picture of the liver and intestine. A dose of 7 % caused leukocytosis (+20.7 %, up to 40.8 thousand/μL), a decrease in alkaline phosphatase activity by 17.4 %, and the development of typhlitis with crypt destruction and lymphoid infiltrates in the liver. A dose of 5 % is recommended to maintain physiological and biochemical homeostasis and prevent dysbiotic complications.

***Keywords*:** *synbiotics, Bacillus subtilis B-945, inulin, lactulose, sterlet feeding, sterlet, sterlet blood biochemistry, sterlet liver histology, sterlet intestine histology.*

Citation. Kozubov A. S., Tsvetkov O. E., Koshchaev A. G., Ryadnov A. A. The synbiotic feed additive effect on the sterlet physiological and biochemical status. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 429-437 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-48.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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

ВЛИЯНИЕ СИНБИОТИЧЕСКОЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС СТЕРЛЯДИ

[1]Козубов А. С., *аспирант*
[1]Цветков О. Е., *аспирант*
[1]Кощаев А. Г., *академик РАН, доктор биологических наук, профессор*
[2]Ряднов А. А., *доктор биологических наук, профессор*

[1]ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Интенсивные технологии выращивания рыб в условиях замкнутого водоснабжения, применение высокоэнергетических комбикормов и высокая плотность посадки создают предпосылки для развития дисбиотических расстройств, воспалительных процессов в кишечнике и жировой дистрофии печени, что ведёт к снижению продуктивности и повышенному отходу поголовья. **Объект.** Объектом исследования является синбиотическая кормовая добавка на основе *Bacillus subtilis B-945*, инулина и лактулозы и её влияние на биохимические и гематологические показатели крови, а также гистоморфологическую структуру печени и кишечника молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*). **Материалы и методы.** Исследование проведено на сеголетках стерляди (n = 200 в каждой группе) в условиях УЗВ при температуре 21 °С в течение 90 суток. Синбиотик вводили в дозировках 3, 5 и 7 % от массы комбикорма. Биохимические показатели сыворотки крови определяли на автоматическом анализаторе DIRUI CS-600, гематологические – общепринятыми методами, гистологические срезы печени и задней кишки окрашивали гематоксилином и эозином. **Результаты и выводы.** В ходе исследований по обоснованию применения кормовой добавки установлено, что при дозе 3 % общий белок сыворотки увеличился на 26,7 %, но выявлены очаги жирового перерождения и коагуляционного некроза в печени. Доза 5 % повышала общий белок на 15,8 % при активности трансаминаз на уровне контроля и нормальной гистологической картине печени и кишечника. Доза 7 % вызывала лейкоцитоз (+20,7 %, до 40,8 тыс./мкл), снижение активности щелочной фосфатазы на 17,4 % и развитие воспаления кишечника с деструкцией крипт и лимфоидными инфильтратами в печени. Рекомендована доза 5 % для поддержания физиолого-биохимического гомеостаза и профилактики дисбиотических осложнений.

Ключевые слова: *синбиотики, Bacillus subtilis B-945, инулин, лактулоза, кормление стерляди, стерлядь, биохимия крови стерляди, гистология печени стерляди, гистология кишечника стерляди.*

Цитирование. Козубов А. С., Цветков О. Е., Кощаев А. Г., Ряднов А. А. Влияние синбиотической кормовой добавки на физиолого-биохимический статус стерляди. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 429-437. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-48.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Аквакультура – одно из основных направлений развития рыбного хозяйства в современном мире, играющее важнейшую роль в обеспечении продовольственной безопасности Российской Федерации [7, 6].

Однако интенсификация осетроводства, связанная с применением высокопитательных комбикормов, плотной посадкой и стресс-факторами в установках замкнутого водоснабжения, приводит к метаболическим нарушениям, наиболее распространёнными из которых являются дисбиотические расстройства, воспалительные процессы в кишечнике, жировая дистрофия печени и, как следствие, снижение продуктивности и повышенный отход поголовья [1, 4, 5, 8].

В связи с этим, по мнению ФАО [7] и Е. А. Йылдырым [2], актуальным является поиск эффективных и безопасных кормовых добавок, способных модулировать кишечную микробиоту и поддерживать физиолого-биохимический гомеостаз. Обзоры современного опыта использования таких добавок E. Ringo et al. [9] и W. Wee et al. [11] свидетельствуют о том, что особый интерес представляют синбиотики – препараты, сочетающие пробиотический штамм и пребиотические субстраты.

Синбиотики на основе бактерий рода *Bacillus* и растительных полисахаридов обладают широким спектром биологической активности: антимикробной, иммуномодулирующей, гепатопротекторной, а также способностью улучшать переваримость корма за счёт продукции экзогенных ферментов. *Bacillus subtilis,* в качестве пробиотического компонента добавки, подавляет развитие условно-патогенной микрофлоры, а пребиотики (инулин, лактулоза) избирательно стимулируют рост полезных бактерий и образование короткоцепочечных жирных кислот (Q. Ai, 2011; S. Lee et Al., 2018) [10, 11, 12].

Применение пробиотиков и пребиотиков в аквакультуре по отдельности показало высокую эффективность, однако их совместное использование в составе синбиотика остаётся малоизученным, особенно в отношении влияния различных их доз на физиолого-биохимический статус осетровых рыб, в частности стерляди (*Acipenser ruthenus*), в доступной литературе представлены единичными работами (Сементина Е. В., Серпухин Г. Г., 2010; Максим Е. А. и др., 2017; Солнцев Н. А. и др., 2024) [3].

Целью наших исследований являлось изучение разработанной синбиотической кормовой добавки на основе *Bacillus subtilis* B-945, инулина и лактулозы в дозировках 3, 5 и 7 % от массы комбикорма на биохимические, гематологические и гистологические показатели молоди стерляди и обоснование оптимальной дозировки для применения в аквакультуре.

Материалы и методы. Объект исследований. Синбиотическая кормовая добавка изготовлена на основе биомассы *Bacillus subtilis* B-945, выделенной из пробиотического препарата «Моноспорин сухой» (ООО «Биотехагро»), нанесённой на подсолнечниковый шрот, и пребиотического комплекса, включающего порошковый инулин из корня цикория и порошковую лактулозу, полученную в результате изомеризации лактозы.

Экспериментальные исследования. Работа выполнена на базе ООО «БИСКО». Объектом служили сеголетки стерляди (*Acipenser ruthenus*) со средней живой массой 68,7 г, из которых по методу групп-аналогов сформировали четыре группы (n = 200 в каждой). Рыбу содержали в полипропиленовых бассейнах диаметром 2 м в условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) при температуре 21 °С и содержании растворённого кислорода не ниже 8,0 мг/л. Продолжительность опыта составила 90 суток. Контрольная группа получала основной рацион; 1-я, 2-я и 3-я опытные группы – тот же рацион с введением 3, 5 и 7 % синбиотической добавки соответственно взамен части пшеничной муки. Кормление осуществляли вручную три раза в сутки.

Лабораторные исследования. В конце эксперимента осуществлялось исследование крови трех случайно отобранных особей из каждой группы на базе НИЦ Ветфармбиоцентр, г. Краснодар. Оно включало в себя определение следующих показателей: гемоглобин, эритроциты, лейкоциты, АЛТ, АСТ, ЩФ, холестерин, триглицериды, прямой билирубин, мочевина, креатинин, общий белок, альбумин, глюкоза, ЛДГ, фосфор, кальций. Перед отбором крови рыбу выдерживали на голодной диете в течение 12 ч. Для биохимического анализа кровь отбирали из хвостовой вены в вакуумную пробирку с активатором свертывания, а показатели сыворотки определяли в автоматическом биохимическом анализаторе DIRUI CS-600. Для общего анализа использовали цельную кровь, которую отбирали в вакуумные пробирки с литий-гепарином.

Гистологические исследования органов стерляди проводились на базе Краснодарского филиала ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных», г. Краснодар. Для гистологического исследования внутренних органов (печень, кишечник) по две тушки рыб из каждой группы доставляли в лабораторию в контейнерах со льдом в течение 2 ч с момента вылова из бассейна. Образцы органов фиксировали в 10 % растворе нейтрального формалина, заливали в парафин, после чего изготавливали срезы толщиной 5-7 мкм, которые окрашивали гематоксилин-эозином. Анализ гистологических препаратов выполняли с помощью микроскопа «Zeiss Axio Imager» с системой визуализации (окуляры х10 и объективы х2,5, х5, х10, х40), оценивали общую архитектонику, степень вакуолизации гепатоцитов, наличие жировых включений и гемосидерина, целостность эпителиального пласта, форму ворсинок. Полученные данные обрабатывали с помощью программного обеспечения «ZEISS ZEN».

Результаты обрабатывали методом вариационной статистики с использованием программы Microsoft Office Excel 2013. Достоверность различий определяли по критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение. При оценке продуктивных показателей молоди стерляди установлено, что введение синбиотической добавки во всех дозировках не провоцировало гибели рыб, повысив сохранность в опытных группах до 95,7-97,1 % относительно 95,0 % в контрольной. Основные показатели продуктивности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели продуктивности и сохранности молоди стерляди, n = 200, M ± m
Table 1 – Indicators of productivity and safety of juvenile sterlet, n=200, M±m

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	1-я опытная / test 1	2-я опытная / test 2	3-я опытная / test 3
Начальная масса, г / Initial weight, g	67,9 ± 1,5	69,3 ± 1,6	69,3 ± 1,6	68,6 ± 1,5
Конечная масса, г / Final weight, g	212,0 ± 4,8	222,6 ± 5,1	216,0 ± 4,9	231,9 ± 5,7**
Абсолютный прирост, г / Absolute growth, g	144,1	153,3	146,7	163,3
Среднесуточный прирост, г/сут / Average daily growth, g/day	1,60	1,70	1,63	1,81
Кормовой коэффициент / Feed conversion ratio	1,40	1,28	1,33	1,23
Сохранность, % / Survival rate, %	95,0	97,1	97,1	95,7

** – p≤ 0,01

Анализ динамики роста показал, что продуктивность молоди при введении добавки во всех исследуемых дозировках была выше контрольных показателей. Наиболее выраженный ростостимулирующий эффект зафиксирован в 3-й опытной группе, где конечная масса рыб достигла 231,9 ± 5,7 г, что достоверно (p ≤ 0,01) выше контрольной группы на 9,4 %, а абсолютный прирост составил 163,3 г, опережая контроль на 13,3 %. Данные показатели тесно коррелируют со снижением кормового коэффициента во всех опытных группах, где в 1-й и 3-й опытных группах данный показатель снизился на 8,6 % и 12,1 % соответственно по сравнению с контролем (1,40). Снижение кормового коэффициента в опытных группах может быть обусловлено перестройкой микробиоценоза желудочно-кишечного тракта, что способствует повышению переваримости нутриентов корма.

Для комплексности изучения влияния различных дозировок синбиотика на молодь стерляди был проведен биохимический анализ крови, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Биохимические показатели сыворотки крови стерляди (M±m), n=3
Table 2 – Biochemical parameters of sterlet blood serum (M±m), n=3

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	1-я опытная / test 1	2-я опытная / test 2	3-я опытная / test 3
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	26,6±*1,3*	33,7±*4,7*	30,8±*2,1*	29,6±*1,2*
Альбумины, г/л / Albumins, g/l	12,2±*0,3*	14,3±*1,1*	13,7±*1,3*	14,0±*0,2*
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	2,2±*0,1*	3,1±*0,3*	2,5±*0,0*	2,8±*0,3*
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	2,7±*0,3*	3,4±*0,7*	3,1±*0,3*	3,0±*0,1*
АЛТ, ед./л / ALT, units/l	206,6±10,3	207,7±18,7	198,6±18,9	204,5±10,5
АСТ, ед./л / AST, units/l	595,5±9,2	602,7±28,8	612,0±25,6	586,8±38,2
ЩФ, ед./л / ALP, units/l	237,1±5,6	206,9±49,7	231,5±25,1	195,8±13,1
Триглицериды, мкмоль/л / Triglycerides, mmol/l	5,2±1,0	7,1±2,4	5,4±0,3	4,6±0,5
Прямой билирубин, мкмоль/л / Direct bilirubin, mmol/l	9,6±6,3	3,4±0,7	6,4±1,2	22,7±12,26
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	2,1±0,4	1,8±0,3	1,5±0,0	2,1±0,2
Креатинин, ммоль/л / Creatinine, mmol/l	53,7±0,3	76,3±14,5	54,3±7,5	58,3±17,3
ЛДГ, ед/л / LDH, U/l	3657,7±342,4	4932,3±1537,1	2843,0±85,0	3050±178,8
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	3,5±0,2	3,7±0,3	4,3±0,4	4,1±0,3
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	1,7±0,03	1,8±0,03	1,9±0,07	1,8±0,07

Изучение биохимических показателей молоди стерляди в опытных группах демонстрирует тенденцию к увеличению содержания общего белка во всех опытных группах. Наиболее заметное повышение наблюдалось в 1-й опытной группе, где уровень общего белка достигал 33,7 ± 4,7 г/л против 26,6 ± 1,3 г/л в контроле. В 3-й опытной группе концентрация альбуминов составила 14,0 ± 0,2 г/л по сравнению с 12,2 ± 0,3 г/л в контроле, что наряду с максимальными ростовыми показателями данной группы указывает на интенсификацию пластического обмена у рыб.

Содержание глюкозы во 2-й опытной группе составило 2,5 ± 0,0 ммоль/л и было выше контрольного уровня (2,2 ± 0,1 ммоль/л). Активность АЛТ и АСТ не имела выраженных межгрупповых различий и находилась в пределах допустимых значений. В 3-й опытной группе отмечено снижение активности щелочной фосфатазы до 195,8 ± 13,1 ед./л относительно контроля (237,1 ± 5,6 ед./л), что может быть следствием перераспределением ферментативной активности в пользу пластического обмена при ускоренном росте или начальным признаком холестаза. Резкое повышение прямого билирубина в этой же группе (22,7 ± 12,3 мкмоль/л против 9,6 ± 6,3 мкмоль/л в контроле) подкрепляет предположение о холестатических явлениях, что коррелирует с гистологическим состоянием кишечника.

Снижение ЛДГ во 2-й и 3-й опытных группах до 2843,0 ± 85,0 и 3050 ± 178,8 ед./л соответственно при 3657,7 ± 342,4 ед./л в контрольной группе может свидетельствовать о гепатопротекторном эффекте синбиотика. Показатели липидного (холестерин, триглицериды) и азотистого (мочевина, креатинин) метаболизма во всех группах соответствовали физиологической норме осетровых рыб. Численное увеличение фосфора (4,1-4,3 ммоль/л) и кальция (1,8-1,9 ммоль/л) в опытных группах относительно контрольной (3,5 ± 0,2 и 1,7 ± 0,03 ммоль/л соответственно) может указывать на повышение доступности минеральных элементов из комбикорма за счет ферментативной активности пробиотического компонента добавки.

Наряду с биохимическими маркерами метаболизма, важную информацию о физиологическом статусе несут гематологические показатели, приведённые в таблице 3.

Таблица 3 – Гематологические показатели стерляди (M ± m), n = 3
Table 3 – Hematological parameters of sterlet (M±m), n=3

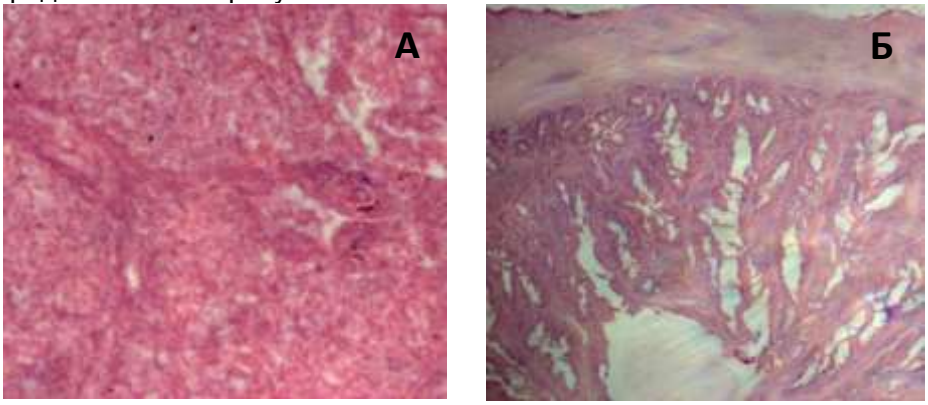
Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / control	1-я опытная / test 1	2-я опытная / test 2	3-я опытная / test 3
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, G / L	58,3±*1,5*	65,3±*6,6*	56,0±*7,0*	61,0±*4,4*
Эритроциты, млн/мкл / Erythrocytes, million / µL	0,7±*0,11*	0,6±*0,05*	0,9±*0,05*	0,5±*0,07*
Лейкоциты, тыс/мкл / Leukocytes, out/MCL	33,8±*3,5*	25,1±*2,8*	33,0±*2,5*	40,8±*6,4*
Лимфоциты, % / Lymphocyte, %	78,0±*2,9*	75,3±*6,1*	81,7±*1,2*	80,0±*2,0*
Нейтрофилы, % / Neutrophils, %	12,7±1,7	14,0±2,5	10,3±0,3	13,0±2,1
Базофилы, % / Basophiles, %	1,3±0,9	0,3±0,3	0,7±0,3	0,0
Моноциты, % / Monocyte, %	3,3±0,3	2,7±0,3	2,7±0,3	2,7±1,2
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	4,7±2,7	7,7±4,1	4,7±0,9	4,3±1,5

Гематологический профиль не демонстрировал выраженных отклонений от физиологической нормы. Отмечена тенденция к увеличению средних значений гемоглобина в 1-й (65,3 ± 6,6 г/л) и 3-й (61,0 ± 4,4 г/л) опытных группах относительно контрольных значений (58,3 ± 1,5 г/л). Общее количество лейкоцитов возрастало в 3-й опытной группе до 40,8 ± 6,4 тыс./мкл в сравнении с 33,8 ± 3,5 тыс./мкл в контроле. С учетом стабильной лейкоцитарной формулы с преобладающими лимфоцитами (75,3-81,7 %), данный сдвиг свидетельствует об умеренном поддержании иммунного статуса. Незначительные колебания содержания нейтрофилов, базофилов, эозинофилов и моноцитов во всех опытных группах находились в пределах видовых физиологических границ для молоди стерляди.

Изучение гистологической картины печени и кишечника продемонстрировало значительные различия в зависимости от дозировки синбиотика и согласовывалось с биохимическими и гематологическими показателями.

В печени рыб контрольной группы регистрировались околососудистая лимфоидная пролиферация, отложения гемосидерина и множественные кровоизлияния, а в кишечнике – катаральный энтерит с атрофией ворсинок, отёком слизистой и лимфоидной инфильтрацией. У особей из 1-й опытной группы в печени отмечалось уплотнение ткани со снижением вакуолизации гепатоцитов, однако сохранялись единичные очаги жирового перерождения и коагуляционного некроза; в кишечнике обнаруживались локальные нарушения сосудистой проницаемости при общем соответствии норме. У стерляди из 2-й опытной группы архитектоника печени и структура кишечника соответствовали физиологической норме, с минимальной невоспалительной лимфоидной активностью, что коррелировало с нормализацией биохимических показателей и максимальной сохранностью. У рыб 3-й опытной группы в печени обнаружены множественные мелкоочаговые лимфоидные инфильтраты и кровоизлияния, а в задней кишке – воспаление с деструкцией кишечных крипт, выраженным отёком подслизистой основы и сужением просвета органа.

Наиболее показательные гистологические изменения органов рыб 2-й и 3-й опытных групп представлены на рисунке 1.



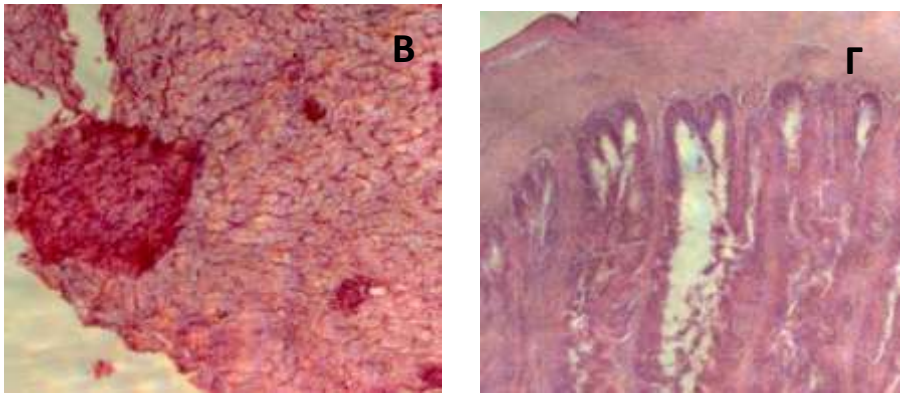


Рисунок 1 – Результаты гистологических исследований печени и кишечника молоди стерляди
А – нормальная структура паренхимы печени у рыбы из 2-й опытной группы (100х);
Б – соответствие структуры пилорической части кишечника физиологической норме у рыбы из 2-й опытной группы (25х); В – мелкоочаговые лимфоидные инфильтраты и кровоизлияния в печени у рыбы из 3-й опытной группы (50х); Г – деструкция кишечных крипт и отек подслизистой основы, ведущий к сужению просвета органа, у рыбы из 3-й опытной группы (50х).
Figure 1 – Results of histological studies of the liver and intestines of young starlet
A – normal structure of the liver parenchyma in fish from the 2nd experimental group (100x);
B – compliance of the structure of the pyloric part of the intestine with the physiological norm in fish from the 2nd experimental group (25x); C – small-focal lymphoid infiltrates and hemorrhages in the liver of fish from the 3rd experimental group (50x); D – destruction of intestinal crypts and submucosal edema, leading to narrowing of the organ lumen, in fish from the 3rd experimental group (50x)

Эти данные полностью согласуются с зафиксированными в данной группе лейкоцитозом (до 40,8 тыс./мкл), ростом прямого билирубина (до 22,7 мкмоль/л) и снижением активности щелочной фосфатазы, подтверждая развитие системного воспалительного ответа и холестатических явлений при высокой дозе синбиотика.

Заключение. Результаты исследований показали, что синбиотическая кормовая добавка на основе *Bacillus subtilis* В-945, инулина и лактулозы не вызывает гибели рыб и не ухудшает их сохранность. Оптимальной дозировкой, обеспечивающей наиболее благоприятный физиолого-биохимический статус молоди стерляди, является 5 % от массы комбикорма. При данной дозе биохимические и гематологические показатели остаются близкими к контрольным значениям, а гистологическая структура печени и кишечника соответствует физиологической норме с компенсаторной лимфоидной пролиферацией без признаков воспаления. Дозировка 3 % сопровождается умеренными адаптивными изменениями и единичными очагами жировой дистрофии и коагуляционного некроза в печени. Дозировка 7 % вызывает выраженный метаболический дисбаланс: лейкоцитоз до 40,8 тыс./мкл, повышение прямого билирубина до 22,7 мкмоль/л, снижение активности щелочной фосфатазы на 17,4 % и развитие воспаления кишечника с деструкцией кишечных крипт и лимфоидными инфильтратами в печени, что исключает её длительное применение.

Таким образом, синбиотическая добавка в дозировке 5 % может быть рекомендована для использования в индустриальном осетроводстве в качестве средства поддержания физиолого-биохимического гомеостаза и профилактики дисбиотических и воспалительных осложнений.

Conclusion. The results of the studies showed that the synbiotic feed additive based on Bacillus subtilis B-945, inulin, and lactulose does not cause fish death and does not impair their preservation. The optimal dosage that ensures the most favorable physiological and biochemical status of the sterlet fry is 5 % of the feed weight. At this dosage, the biochemical and hematological parameters remain close to the control values, and the histological structure of the liver and intestines corresponds to the physiological norm with compensatory lymphoid proliferation without signs of inflammation. A 3 % dosage is accompanied by moderate adaptive changes and isolated foci of fatty degeneration and coagulative necrosis in the liver. A 7% dosage causes a pronounced metabolic imbalance: leukocytosis up to 40.8 thousand/mkl, an increase in direct bilirubin to 22.7 μmol/l, a decrease in alkaline phosphatase activity by 17.4 % and the development of intestinal inflammation with destruction of intestinal crypts and lymphoid infiltrates in the liver, which excludes its long-term use.

Thus, a 5 % synbiotic supplement can be recommended for use in industrial sturgeon farming as a means of maintaining physiological and biochemical homeostasis and preventing dysbiotic and inflammatory complications.

Библиографический список

1. Алферов Д. О. и др. Влияние экспериментальной пробиотической кормовой добавки на морфометрические и рыбохозяйственные показатели осетровых рыб. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 117. С. 243-250.
2. Йылдырым Е. А., Лаптев Г. Ю., Ильина Л. А. и др. Биопрепараты для рыб – острая необходимость. Сельскохозяйственные Вести. 2023. № 4 (135). С. 32-35.
3. Кошак Ж. В., Ильяшенко А. Н., Дегтярик С. М. и др. Сравнительная оценка эффективности использования пробиотика Натупро в кормлении форели и стерляди. Животноводство и кормопроизводство. 2025. № 4. С. 115-124.
4. Кравченко А. С., Ладыш И. А. Особенности гистологического строения печени осетровых в искусственно созданных условиях выращивания в установках замкнутого водоснабжения. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3 (71). С. 190-196.
5. Кузьмина В. В. Процессы пищеварения у рыб. Новые факты и гипотезы. Ярославль: Филигрань, 2018. 300 с.
6. Семенова И. В. Современные проблемы правового регулирования использования и охраны водных биологических ресурсов. NB: Административное право и практика администрирования. 2024. № 3. С. 11-22.
7. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2022. На пути к «голубой» трансформации. Рим: ФАО, 2022. 266 с.
8. Panase A. et al. Influences of Bacillus subtilis and fructooligosaccharide on growth performances, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Frontiers in Veterinary Science. 2023. V. 9. Art. 1094681.
9. Ringø E. et al. Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: interesting supplementation for aquaculture. Journal of Applied Microbiology. 2020. Vol. 129. I. 1. Pp. 116-136.
10. Pamungkas P. K. Y. Supplementation of inulin in Feed against the abundance of lactic acid bacteria, growth performance and utilization of tilapia (Oreochromis niloticus) feed. Agroqua journal: Agronomy and Aquaculture Information Media. 2024. V. 22. No 1. Pp. 110-121.
11. Wee W. et al. The effects of mixed prebiotics in aquaculture: review. Aquaculture and Fisheries. 2024. V. 9. I. 1. Pp. 28-34.
12. Amenyogbe E. et al. The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: present study, limitations and future directions: review. Aquaculture International. 2020. V. 28. № 3. Pp. 1017-1041.

References

1. Alferov D. O. et al. The influence of an experimental probiotic feed additive on morphometric and fishery indicators of sturgeon fish. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2025. No. 117. Pp. 243-250.
2. Yildirim E. A., Laptev G. Yu., Ilina L. A. et al. Biological products for fish – an urgent need. Agricultural News. 2023. No. 4 (135). Pp. 32-35.
3. Koshak Zh. V., Ilyashenko A. N., Degtyarik S. M. et al. Comparative assessment of the effectiveness of using the probiotic Natupro in feeding trout and starlet. Animal husbandry and feed production. 2025. No. 4. Pp. 115-124.
4. Kravchenko A. S., Ladysh I. A. Features of the histological structure of the liver of sturgeons in artificially created growing conditions in closed water supply installations. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2025. No. 3 (71). Pp. 190-196.
5. Kuzmina V. V. Digestive processes in fish. New facts and hypotheses. Yaroslavl: Filigran, 2018. 300 p.
6. Semenova I. V. Modern problems of legal regulation of the use and protection of aquatic biological resources. NB: Administrative law and practice of Administration. 2024. No. 3. Pp. 11-22.
7. The state of global fisheries and aquaculture – 2022. On the way to the "blue" transformation. Rome: FAO, 2022. 266 p.
8. Panase A. et al. Influences of Bacillus subtilis and fructooligosaccharide on growth performances, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Frontiers in Veterinary Science. 2023. V. 9. Art. 1094681.
9. Ringø E. et al. Probiotics, lactic acid bacteria and bacilli: interesting supplementation for aquaculture. Journal of Applied Microbiology. 2020. Vol. 129. I. 1. Pp. 116-136.
10. Pamungkas P. K. Y. Supplementation of inulin in Feed against the abundance of lactic acid bacteria, growth performance and utilization of tilapia (Oreochromis niloticus) feed. Agroqua journal: Agronomy and Aquaculture Information Media. 2024. V. 22. No 1. Pp. 110-121.
11. Wee W. et al. The effects of mixed prebiotics in aquaculture: review. Aquaculture and Fisheries. 2024. V. 9. I. 1. Pp. 28-34.
12. Amenyogbe E. et al. The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: present study, limitations and future directions: review. Aquaculture International. 2020. V. 28. № 3. Pp. 1017-1041.

Информация об авторах

Козубов Алексей Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), AuthorID 1136788, e-mail: ackozubov@gmail.com

Цветков Олег Евгеньевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), AuthorID: 1175710, e-mail: tsvetkov82@list.ru

Кощаев Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), AuthorID: 138537, e-mail: kagbio@mail.ru

Рядnов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), AuthorID: 425524, e-mail: radnov@mail.ru

Authors' Information
Kozubov Aleksey Sergeevich, Postgraduate Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina Str., 13), AuthorID 1136788, e-mail: ackozubov@gmail.com
Tsvetkov Oleg Evgenyevich, Postgraduate Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina Str., 13), AuthorID: 1175710, e-mail: tsvetkov82@list.ru
Koshchaev Andrey Georgievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina Str., 13), AuthorID: 138537, e-mail: kagbio@mail.ru
Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), AuthorID: 425524, e-mail: radnov@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-49

THE STUDY OF THE ADSORBENTS USAGE FOR REDUCING THE AFFECTED BY ALTERNARIA GRAIN IMPACT ON THE BROILER CHICKENS PRODUCTION INDICATORS

Medvedeva V. A., Nikolaev S. I., Chehranova S. V., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 15.04.2026 Submitted 22.07.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 08.08.2025. No OTD-186919 related: "Investigation of the use of adsorbents to reduce the impact of grain affected by alternaria on the production performance of broiler chickens".

Abstract

Introduction. The fight against fungal diseases of crops is one of the most important tasks of modern agriculture. Prolonged exposure to toxins from feed, even within the limits of maximum permissible concentrations, and even more so when the maximum permissible concentration limit is exceeded, leads to toxicosis. The properties of mycotoxins vary; the toxic effect varies and depends on a number of factors (the structure of the toxin, the dose, the duration of exposure, the age of the bird; the general background of feeding). The relationship between feed safety, animal health, and consumer welfare highlights the need for a comprehensive approach to mycotoxin control. The purpose of the research is to study the inclusion of adsorbents in feed programs to reduce the negative impact of grain affected by alternaria on the production performance of broiler chickens. **Materials and methods.** The research was conducted from August to November 2025 at the Center for Nutrigenomics of Agricultural Animals and Poultry at the Research Institute of Fundamental and Applied Agricultural Biotechnologies of the Volgograd State Agrarian University in collaboration with the Department of Feeding and Breeding of Farm Animals on Ross 308 broiler chickens. The duration of the experiment was 41 days. To determine the effect of alternaria-affected wheat grains and additives No. 1 and No. 2 on the production performance of broilers, recipes were developed that take into account all phases of poultry growth, on the basis of which experimental batches of compound feeds with varying degrees of alternaria damage were developed: basic feed, standard feeding program (wheat without alternaria damage) without the addition of adsorbents; replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with alternaria (10 % of the lesion) without the addition of adsorbents; replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with alternaria (10 % of the lesion) with the addition of adsorbent No. 1; replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with alternaria (10 % of the lesion) with the addition of adsorbent No. 2. **Results and conclusions.** In the average group, the highest live weight index of broiler chickens was observed in control group No. 2 and amounted to 3211.44 g. The second place in this indicator was taken by control group No. 1, where the live weight of broilers was 3184.61 g. In the experimental groups, the live weight of chickens at the age of 41 days was lower than in the control groups: in experimental No. 1 it was at the level of 3137.98 g, in experimental No. 2 – 3153.28 g. In all experimental groups, the live weight was higher than the standard of the cross, which is 2,998 g by this age. At the same time, the lowest coefficient of variation in live weight was noted in experimental group No. 1, which indicates a higher uniformity of livestock in this group. After the slaughter and removal of the feather, an autopsy and analysis of the development of internal organs were performed. As a result of the examination, the carcasses were well muscled, the presence of subcutaneous and abdominal fat, and the normal development of circulatory, digestive, immune, and other body systems. There was no pathological changes characteristic of infectious and invasive bird diseases.

Keywords: *broiler chickens, feeding of broiler chickens, Alternaria, broiler chickens live weight, broiler chickens productive indicators.*

Citation. Medvedeva V. A., Nikolaev S. I., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V. The study of the adsorbents usage for reducing the affected by Alternaria grain impact on the broiler chickens production indicators. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 437-447 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-49.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 636.5.033.087.72

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ЗЕРНА, ПОРАЖЕННОГО АЛЬТЕРНАРИЕЙ, НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Медведева В. А., *аспирант*
Николаев С. И., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Чехранова С. В., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
Воронцова Е. С., *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник*
Водянникова В. В., *доктор биологических наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ,
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора от 08.08.2025 г. № ОТД-186919 по теме: "Исследование применения адсорбентов для снижения влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели цыплят-бройлеров".

Актуальность. Борьба с грибковыми заболеваниями сельскохозяйственных культур представляет собой одну из важнейших задач современного сельского хозяйства. Длительное поступление токсинов с кормом даже в границах предельно допустимых концентраций, а тем более при превышении ПДК, ведёт к токсикозу. Свойства микотоксинов неодинаковы, токсическое действие разнится и зависит от целого ряда факторов (структуры токсина, дозы, продолжительности экспозиции, возраста птицы, общего фона кормления). Взаимосвязь между безопасностью кормов, здоровьем животных и благополучием потребителей подчеркивает необходимость комплексного подхода к борьбе с микотоксинами. Цель исследований – изучить включение адсорбентов в кормовые программы для снижения негативного влияния зерна, поражённого альтернарией, на производственные показатели цыплят-бройлеров. **Материалы и методы.** Исследования проведены с августа по ноябрь 2025 г. в Центре нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий совместно с кафедрой «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ на цыплятах-бройлерах кросса «Росс 308». Продолжительность опыта составила 41 сутки. Для определения влияния зерна пшеницы, пораженного альтернарией, и адсобентов № 1 и № 2 на производственные показатели бройлеров были разработаны рецепты, учитывающие все фазы роста птицы, на основании которых выработаны опытные партии комбикормов с разной степенью поражения пшеницы альтернарией: контрольная группа № 1 – базовый корм, стандартная программа кормления (пшеница без поражения альтернарией) без добавления адсорбентов; контрольная группа № 2 – замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) без добавления адсорбентов; опытная группа № 1 – замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 1; опытная группа № 2 – замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 2. **Результаты и выводы.** Наибольший показатель средней живой массы цыплят-бройлеров был отмечен в контрольной группе № 2 и составил 3211,44 г. На втором месте по данному показателю оказалась контрольная группа № 1, где живая масса бройлеров составила 3184,61 г. В опытных группах живая масса цыплят в возрасте 41 дня была ниже, чем в контрольных: в опытной № 1 – 3137,98 г, в опытной № 2 – 3153,28 г. Во всех подопытных группах живая масса была выше стандарта кросса, который составляет к этому возрасту 2998 г. При этом наименьший коэффициент вариации по живой массе отмечен в опытной группе № 1, что свидетельствует о более высокой однородности поголовья в этой группе. После убоя и съёма пера проведено вскрытие и анализ развития внутренних органов. В результате осмотра отмечена хорошая обмускуленность тушек, наличие подкожного и абдоминального жира, нормальное развитие кровеносной, пищеварительной, иммунной и других систем организмов. Патологических изменений, характерных для инфекционных и инвазионных заболеваний птиц, не отмечено.

Ключевые слова: *цыплята-бройлеры, кормление цыплят-бройлеров, альтернария, живая масса цыплят-бройлеров, продуктивные показатели цыплят-бройлеров.*

Цитирование. Медведева В. А., Николаев С. И., Чехранова С. В., Воронцова Е. С., Водянникова В. В. Исследование применения адсорбентов для снижения влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели цыплят-бройлеров. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 437-447. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-49.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Борьба с грибковыми заболеваниями сельскохозяйственных культур представляет собой одну из важнейших задач современного сельского хозяйства. Несмотря на эффективность синтетических фунгицидов, их постоянное использование приводит к развитию резистентности патогенов, наносит вред окружающей среде и представляет опасность для здоровья людей и животных.

Alternaria – один из широко распространенных и хорошо изученных родов грибов с точки зрения экологического разнообразия. Он повсеместно встречается в качестве сапрофита и патогена на овощах, сельскохозяйственных культурах, фруктах и их побочных продуктах, вызывая порчу при транспортировке, хранении и переработке [16, 20]. Известно, что этот род поражает более 4000 растений-хозяев и наносит серьёзный ущерб сельскохозяйственным культурам на поле и после сбора урожая [12].

В настоящее время в качестве эффективного инструмента для классификации и идентификации *Alternaria* используется метод мультилокусного секвенирования, основанный на общих генах [4] и выработке вторичных метаболитов. *Alternaria spp.* может поражать различные растения-хозяева за счет синтеза фитотоксинов. По характеру вызываемых симптомов эти соединения разделяют на две группы: токсины, специфичные для конкретного хозяина, и неспецифичные токсины [10]. Некоторые из этих токсинов, известные как микотоксины, вредны как для людей, так и для животных.

Оптимальные условия окружающей среды способствуют росту токсигенных видов Alternaria, продуцирующих наиболее распространенные микотоксины, такие как OH, AME, тенуазоновую кислоту и тентоксин. Эти микотоксины обычно загрязняют широкий спектр восприимчивых сельскохозяйственных культур и пищевых продуктов. Несмотря на регулярное обнаружение этих микотоксинов, не существует законов или нормативных актов, регулирующих их предельно допустимые уровни. Поэтому эти метаболиты по-прежнему относят к новым микотоксинам, по которым не установлены официальные нормы контроля [2].

Эксперименты in vitro показали: токсины *Alternaria* подавляют пролиферацию клеток млекопитающих и микроорганизмов, индуцируют мутагенез, цитотоксичность, эстрогенное и фетотоксическое действие. Данных по токсичности in vivo пока мало [17].

Alternaria spp. продуцируют сотни вторичных метаболитов, из которых семьдесят признаны фитотоксичными. При благоприятных температуре и влажности биоактивные токсины накапливаются в тканях растения-хозяина и при употреблении такой продукции с кормом или пищей воздействуют на здоровье животных и человека. По структуре токсины Alternaria группируют в пять основных классов:

1. Производные дибензопирона – альтенуэн, альтернариол, монометиловый эфир альтернариола.
2. Производные тетраминовой кислоты – тенуазоновая и изотенуазоновая кислоты.
3. Производные периленихинона – альтертоксины I, II и III.
4. Эфиры аминопентиловой кислоты – AAL-токсины.
5. Отдельную группу составляют соединения с иной структурой, в частности тентоксин [15].

Агрономически значимые виды *Alternaria* выделяют селективные хозяин-специфичные токсины узкого спектра действия (HST). HST повреждают ткани конкретных растений-хозяев при проникновении гриба и развитии инфекции. Многие виды продуцируют неспецифичные токсины (nHST), которые могут способствовать развитию симптомов и распространению болезней растений [14]. Как некротрофы, *Alternaria* через nHST запускают программируемый апоптоз и некроз клеток хозяина, а не просто колонизируют ткань [7]. Гены биосинтеза HST у *Alternaria alternata* и родственных ей таксонов часто находятся на небольших условно необязательных хромосомах [3]. Помимо участия токсинов в патогенности, выявлены лишь единичные гены, вносящие вклад в патогенный потенциал *Alternaria* [13].

Расшифровка молекулярных механизмов синтеза HST, вариаций их химической структуры и путей подавления устойчивости растений-хозяев открывает подходы к пониманию молекулярных основ патогенности некротрофных грибных инфекций. По данным

ученых Khosravi A.R., Shokri H., Yahyaraeyat R., Soltani M. (2004), токсическое действие микотоксинов зависит от дозы токсина, от продолжительности воздействия, также влияет тип токсина, механизм действия, обмен веществ и иммунная система [11].

Рядом авторов отмечается, что длительное поступление токсинов с кормом даже в границах предельно допустимых концентраций, а тем более при превышении ПДК, ведёт к токсикозу. Свойства микотоксинов неодинаковы, токсическое действие разнится и зависит от целого ряда факторов (структуры токсина, дозы, продолжительности экспозиции, возраста птицы, общего фона кормления) [1, 2].

Взаимосвязь между безопасностью кормов, здоровьем животных и благополучием потребителей подчеркивает необходимость комплексного подхода к борьбе с микотоксинами [19].

В связи с этим является актуальным изучение влияния скармливания пораженного *Alternaria* зерна сельскохозяйственной птице.

Целью исследований являлось изучить включение адсорбентов в кормовые программы для снижения негативного влияния зерна, поражённого альтернарией, на производственные показатели цыплят-бройлеров.

Материалы и методы. Исследования проведены с августа по ноябрь 2025 г. в Центре нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий совместно с кафедрой «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ на цыплятах-бройлерах кросса «Росс 308». Продолжительность опыта составила 41 сутки.

Для опыта были сформированы 4 группы, в каждую из которых входили 3 секции размером 1,5×1,25 м. Условия содержания для всех подопытных групп были одинаковыми. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Scheme of experiment

№ секции / Section number	Подопытные группы / Experimental groups	Особенности кормления / Feeding characteristics
1	2	3
1	Контрольная группа № 1 (КГ1) / Control group No. 1	Базовый корм, стандартная программа кормления (пшеница без поражения альтернарией) без добавления адсорбентов / Basic feed, standard feeding program (wheat without Alternaria infestation) without the addition of adsorbents
2	Контрольная группа № 2 (КГ2) / Control group No. 2	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) без добавления адсорбентов / Replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with Alternaria (10 % infestation) without the addition of adsorbents
3	Опытная группа № 1 (ОГ1) / Experimental group No. 1	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 1 / Replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with Alternaria (10 % infestation) with the addition of adsorbent No. 1
4	Опытная группа № 2 (ОГ) / Experimental group No. 2	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 2 / Replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with Alternaria (10 % infestation) with the addition of adsorbent No. 2
5	Контрольная группа № 1 (КГ1) / Control group No. 1	Базовый корм, стандартная программа кормления (пшеница без поражения альтернарией) без добавления адсорбентов / Base feed, standard feeding program (wheat without Alternaria infection) without the addition of adsorbents
6	Контрольная группа № 2 (КГ2) / Control group No. 2	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) без добавления адсорбентов / Replacement of normal wheat in the basic recipe with wheat infected with Alternaria (10% infection) without the addition of adsorbents
7	Опытная группа № 1 (ОГ1) / Experimental group No. 1	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 1 / Replacement of normal wheat in the basic recipe with wheat infected with Alternaria (10% infection) with the addition of adsorbent No. 1

Окончание таблицы 1

1	2	3
8	Опытная группа № 2 (ОГ) / Experimental group No. 2	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 2 / Replacing the normal wheat in the basic recipe with wheat infected with Alternaria (10 % damage) and adding adsorbent No. 2
9	Контрольная группа № 1 (КГ1) / Control group No. 1	Базовый корм, стандартная программа кормления (пшеница без поражения альтернарией) без добавления адсорбентов / Base feed, standard feeding program (wheat without alternaria infestation) without the addition of adsorbents
10	Контрольная группа № 2 (КГ2) / Control group No. 2	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) без добавления адсорбентов / Replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with alternaria (10 % infestation) without the addition of adsorbents
11	Опытная группа № 1 (ОГ1) / Experimental group No. 1	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 1 / Replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with alternaria (10 % infestation) with the addition of adsorbent No. 1
12	Опытная группа № 2 (ОГ) / Experimental group No. 2	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 2 / Replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with alternaria (10 % infestation) with the addition of adsorbent No. 2

Содержание цыплят было напольным. Технология кормления, поения и параметры микроклимата соответствовали требованию кросса «Росс 308». Распределение групп по секциям представлено на рисунке 1.

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
КГ1	КГ2	ОГ1	ОГ2	КГ1	КГ2
проход					
ОГ1	ОГ2	КГ1	КГ2	ОГ1	ОГ2
7	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**

Рисунок 1 – Дизайн опыта – распределение экспериментальных групп в зале
Figure 1 – Design of the experiment – distribution of experimental groups in the hall

Для определения влияния зерна пшеницы, пораженного альтернарией, и адсобентов № 1 и № 2 на производственные показатели бройлеров были разработаны рецепты, учитывающие все фазы роста птицы, на основании которых выработаны опытные партии комбикормов с разной степенью поражения пшеницы альтернарией:

- базовый корм, стандартная программа кормления (пшеница без поражения альтернарией) без добавления адсорбентов;
- замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) без добавления адсорбентов;
- замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 1;
- замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения) с добавлением адсорбента № 2.

Результаты и обсуждение. Для определения влияния зерна пшеницы, пораженного альтернарией, и адсорбентов № 1 и № 2 на продуктивность цыплят-бройлеров проводились учет потребления корма, сохранности поголовья, а также еженедельные индивидуальные взвешивания, позволившие в динамике зафиксировать изменения живой массы подопытной птицы (таблица 2).

Таблица 2 – Зоотехнические показатели цыплят-бройлеров в среднем за период опыта
Table 2 – Zootechnical indicators of broiler chickens on average over the period of experience

Показатель / Indicator	Группы / Groups			
	Контрольная группа № 1 / Control group No. 1	Контрольная группа № 2 / Control group No. 2	Опытная группа № 1 / Experimental group No. 1	Опытная группа № 2 / Experimental group No. 2
Живая масса в начале опыта, г / Live weight at the beginning of the experiment, g	41,30±0,28	41,35±0,27	41,35±0,26	41,46±0,26
Живая масса в 7 дней, г / Live weight at 7 days, g	232,04±1,76	233,28±1,72	232,05±1,99	232,82±1,81
Живая масса в 14 дней, г / Live weight at 14 days, g	540,11±4,79	551,68±4,87	533,90±4,94	556,73±5,06
Живая масса в 21 дней, г / Live weight at 21 days, g	1110,36±11,04	1136,06±10,33	1115,22±10,83	1131,35±10,31
Живая масса в 28 дней, г / Live weight at 28 days, g	1748,62±20,82	1800,60±18,01	1743,03±18,14	1792,42±18,49
Живая масса в 35 дней, г / Live weight at 35 days, g	2460,02±30,48	2473,62±27,89	2481,81±24,32	2484,54±31,90
Живая масса в 41 день, г / Live weight at 41 days, g	3184,61±37,79	3211,44±34,98	3137,98±32,08	3153,28±41,43
Стандартное отклонение по массе в конце опыта / Standard deviation for weight at the end of the experiment	403,5	381,53	347,00	448,09
CV по живой массе в конце опыта, % / CV for live weight at the end of the experiment, %	12,67	11,88	11,06	14,21
Количество голов на конец опыта / Number of heads at the end of the experiment	114	119	117	117
из них / of which курочки / chickens	64	61	66	64
петушки / roosters	50	58	51	53
Сохранность, % / Survival rate, %	91,60	95,42	94,65	93,18
Абсолютный прирост, г / Absolute weight gain, g	3143,31	3170,09	3096,63	3111,82
Затраты корма в среднем на 1 голову, г / Average feed consumption per head, g	4409	4413	4414	4411
Затраты корма на 1 кг прироста, кг / Feed consumption per 1 kg of weight gain, kg	1,40	1,39	1,43	1,42

При постановке на опыт средняя живая масса суточного молодняка в подопытных группах находилась в пределах 41,30-41,46 г. К седьмому дню выращивания средняя живая масса по группам колебалась от 232,04 до 233,28 г, межгрупповые различия оставались слабо выраженными. На четырнадцатые сутки минимальное значение зафиксировано в опытной группе № 1 – 533,90 г, максимальное – в опытной группе № 2 (556,73 г). Контрольные группы № 1 и № 2 заняли промежуточное положение с показателями 540,11 и 551,68 г, соответственно. Разрыв между крайними значениями на этом этапе составил 22,83 г (4,28 %). В возрасте 21 дня наименьший показатель отмечен в контрольной группе № 1 – 1110,36 г, наибольший – в контрольной группе № 2 (1136,06 г). Опытные группы № 1 и № 2 показали 1115,22 и 1131,35 г, соответственно. К 28-му дню выращивания цыплята-бройлеры контрольной группы № 2 с живой массой 1800,60 г опережали птицу из опытной группы № 2 на 0,46 %, контрольной группы № 1 – на 2,97 % и опытной группы № 1 – на 3,30 %. На тридцать пятые сутки показатели средней живой массы по группам уложились в интервал 2460,02–2484,54 г. Опытные группы № 1 и № 2 опередили контрольную группы №

2 на 0,33 и 0,44 %, контрольную группу № 1 – на 0,89 и 1,00 %. При завершении опыта максимальная средняя живая масса наблюдалась в контрольной группе № 2 – 3211,44 г. В контрольной группе № 1 данный показатель составил 3184,61 г, опытной группе № 1 – 3137,98 г, опытной группе № 2 – 3153,28 г.

При сравнении живой массы бройлеров опытной группы № 1, опытной группы № 2 и контрольной группы № 2 с контрольной группой № 1 (рисунок 2) в конце опыта отмечено, что данный показатель в контрольной группе № 2 был выше на 26,83 г (0,84 %), а в опытных группах – ниже, соответственно, на 46,62 г (1,46 %) и 31,33 г (0,98 %). При сравнении данных по живой массе в конце опыта с контрольной группой № 2 (рисунок 3) отмечено более низкое значение данного показателя в контрольной группе № 1 – на 26,83 (0,84 %), опытной группе № 1 – на 73,46 г (2,29 %) и опытной группе № 2 – на 58,16 г (1,81 %).

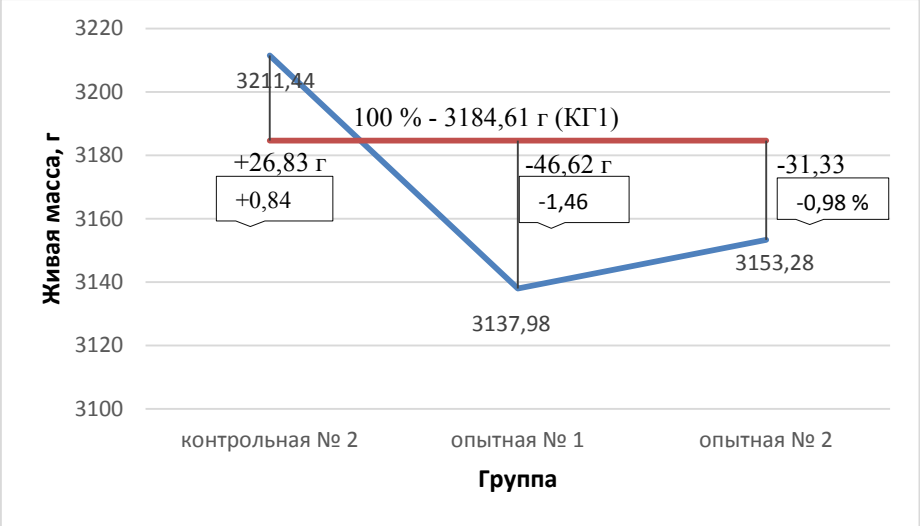


Рисунок 2 – Разница по живой массе бройлеров в возрасте 41 дня по сравнению с контрольной группой № 1, г

Figure 2 – Difference in live weight of broilers at the age of 41 days compared with control group No. 1, g

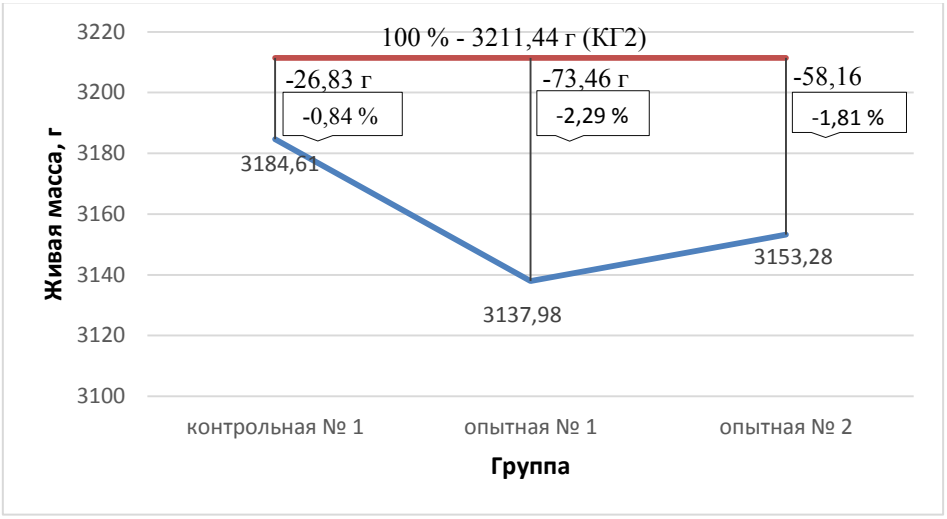


Рисунок 3 – Разница по живой массе бройлеров в возрасте 41 дня по сравнению с контрольной группой № 2, г

Figure 3 – The difference in live weight of broilers at the age of 41 days compared with the control group No. 2, g

Во всех подопытных группах живая масса была выше стандарта кросса, который составляет к этому возрасту 2998 г. При этом наименьший коэффициент вариации по живой массе был отмечен в опытной группе № 1, что свидетельствует о более высокой однородности поголовья в этой группе.

Сохранность птицы за период опыта составила: в контрольной группе № 1 – 91,60 %, в контрольной № 2 – 95,42 %, в опытной № 1 – 94,65 %, в опытной № 2 – 93,18 %.

Полученные в ходе проведенного исследования данные находят свое подтверждение и согласуются с материалами зарубежных исследователей.

В настоящее время знания о возможном воздействии токсинов *Alternaria* на сельскохозяйственных животных и птицу, а также база данных, описывающая наличие этих загрязняющих веществ в кормах, являются слабыми и недостаточными для надлежащей оценки риска, связанного с токсинами *Alternaria* для здоровья животных и птицы. Тем не менее, если предположить, что цыплят можно кормить исключительно пшеницей, потребление токсинов *Alternaria* составит около 120 мкг в день, что соответствует примерно 5 % от рациона. Эта оценка предполагает, что неблагоприятное воздействие корма, содержащего токсины *Alternaria*, на здоровье цыплят нельзя полностью исключить.

По окончании выращивания проведено морфологическое исследование внутренних органов 24 голов цыплят-бройлеров (по три курочки и три петушка от каждой подопытной группы) 41-дневного возраста с целью определения патологических изменений во внутренних органах птицы вследствие скармливания кормов с разным содержанием пшеницы, зараженной альтернарией. Отмечена хорошая обмускуленность тушек, наличие подкожного и абдоминального жира, нормальное развитие кровеносной, пищеварительной, иммунной и других систем организма. Патологических изменений, характерных для инфекционных и инвазионных заболеваний птиц не выявлено.

Согласно полученным данным, средняя живая масса отобранных для контрольного убоя особей в контрольной группы № 1 составила 3174 г, в контрольной группе № 2 – 3169 г, в опытной группе № 1 – 3155 г, опытной группе № 2 – 3115 г. Разница между крайними значениями составила 59 г (1,89 %) (таблица 3).

Таблица 3 – Анализ живой массы и развития внутренних органов в 41 день
Table 3 – Analysis of body weight and development of internal organs at 41 days

Группа / Group	№ секции / Section No.	Пол / Gender	Живая масса, г / Live weight, g	Средняя живая масса, кг / Average live weight, kg	Внутренние органы (вес в граммах и % к живой массе) / Internal organs (weight in grams and % of live weight)					
					сердце / heart		печень / liver		желудок* / stomach*	
					г / g	%	г / g	%	г / g	%
КГ1	1	♀	3050	3174	13,4	0,44	47,0	1,54	67,1	2,20
		♂	3248		15,8	0,48	64,6	1,99	75,0	2,30
	5	♀	3168		16,7	0,52	61,8	1,95	48,8	1,54
		♂	3150		20,7	0,65	58,4	1,85	58,3	1,85
	9	♀	3112		15,6	0,50	70,4	2,26	55,7	1,79
		♂	3316		20,6	0,62	59,0	1,78	47,4	1,42
КГ2	2	♀	3062	3169	13,3	0,43	51,7	1,68	77,9	2,54
		♂	3243		18,4	0,56	54,7	1,68	46,7	1,44
	6	♀	3175		12,6	0,39	52,0	1,64	80,8	2,54
		♂	3170		18,1	0,57	60,3	1,90	58,2	1,83
	10	♀	3193		13,7	0,42	58,0	1,81	63,3	1,98
		♂	3270		14,8	0,45	53,6	1,64	41,7	1,27
ОГ1	3	♀	3116	3155	17,1	0,55	64,2	2,06	74,3	2,38
		♂	3126		16,9	0,54	59,5	1,90	48,5	1,55
	7	♀	3135		16,3	0,52	58,9	1,88	69,2	2,21
		♂	3219		19,5	0,60	66,8	2,07	39,5	1,23
	11	♀	3162		13,8	0,44	54,1	1,71	51,4	1,62
		♂	3175		15,3	0,48	57,0	1,79	49,1	1,54
ОГ2	4	♀	3094	3115	14,6	0,47	61,0	1,97	41,6	1,34
		♂	3092		25,6	0,82	69,5	2,24	49,8	1,61
	8	♀	3195		16,0	0,50	55,4	1,73	49,9	1,56
		♂	3050		17,6	0,58	54,1	1,77	62,3	2,04
	12	♀	3134		18,9	0,60	69,6	2,22	49,0	1,56
		♂	3126		21,4	0,68	65,4	2,09	48,7	1,56

* – мышечный и железистый.
* – muscular and glandular.

По развитию внутренних органов отмечено, что наибольшая масса сердца зафиксирована в опытной группе № 2 (отдельные значения достигали 25,6 г у петушков при относительной величине 0,82 %). В контрольной группе № 2 сердца мелкие, со слабым отложением жира. Масса печени максимальна также в опытной группе № 2, затем по убыванию располагались опытная группа № 1 и контрольная группа № 1, самый низкий показатель отмечен в контрольной группе № 2. Относительно состояния печени в группах цыплят-бройлеров, потреблявших с кормом альтернарию, отмечены участки некроза, токсической дистрофии, с единичными или множественными гематомами и белесыми очагами. В большей степени поражения выражены в контрольной группе № 2. В опытной группе № 2 участки некроза отмечались в меньшей степени, по краям долей печени.

Масса желудка, суммарно мышечного и железистого отделов, наиболее высокой оказалась в контрольной группе № 2, далее шли контрольная группа № 1, опытная группа № 1 и опытная группа № 2 с наименьшим показателем. Меньший вес желудков в опытных группах объяснялся пониженным отложением жира на серозной оболочке.

По результатам морфологических исследований и анализа патологических изменений во внутренних органах цыплят-бройлеров вследствие скармливания зерна пшеницы, пораженного альтернарией, можно сделать вывод, что изменения, характеризующие действие микотоксинов, проявлялись уже при замене в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией, с уровнем поражения до 10 %. Представленные данные характеризуют альтернариатоксины как значимый фактор риска для здоровья птицы и согласуются с утверждениями и выводами Tessari E. N. C., Kobashigawa E., Cardoso (2010), Yli-Mattila T. Sundheim и др. (2022), которые сообщают, что при воздействии микотоксинов на организм бройлеров наблюдались поражения печени и почек [9, 21].

Заключение. Согласно данным исследования и литературным источникам, результаты, связанные с продуктивностью бройлеров, которых кормили рационом, загрязнённым микотоксинами, с добавлением адсорбентов или без них, были неоднозначными. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии негативного влияния зерна, пораженного альтернарией, на продуктивность цыплят-бройлеров. Так, живая масса цыплят-бройлеров к концу эксперимента в контрольной группе № 2 составила 3211,44 г, в контрольной группе № 1 – 3184,61 г, в опытной группе № 2 – 3153,28 г, опытной группы № 1 – 3137,98 г. В исследовании Pappas A. C., Tsiplakou E., Georgiadou M. (2014) сообщалось, что у бройлеров, получавших связующие вещества на основе бентонита, наблюдалась меньшая прибавка в весе на ранних этапах роста, но в конце исследования не было выявлено существенных различий в весе тела или органов [6]. Другое исследование, проведенное Fernandes J. I. M., Baldo J. S., Ferreira A. C. P. (2022), показало, что использование связующих веществ положительно влияет на функцию печени, о чём свидетельствует снижение уровня печёночных ферментов в сыворотке крови и меньшее количество гистопатологических изменений по сравнению с контрольной группой птиц [8].

По результатам морфологических исследований и анализа патологических изменений во внутренних органах цыплят-бройлеров вследствие скармливания зерна пшеницы, пораженного альтернарией, отмечены изменения, характеризующие действие микотоксинов. При анализе состояния печени в группах цыплят-бройлеров, потреблявших с кормом альтернарию, зафиксированы участки некроза, токсической дистрофии, с единичными или множественными гематомами и белесыми очагами. При этом уровень поражения внутренних органов в группах цыплят-бройлеров, получавших адсорбенты, был значительно ниже, особенно в опытной группе № 2, что говорит о детоксикационном действии изучаемых препаратов.

Conclusion. According to the research data and literature sources, the results related to the productivity of broilers fed a diet contaminated with mycotoxins, with or without the addition of adsorbents, were inconclusive. The data obtained indicate that there is no negative impact of grain affected by Alternaria on the productivity of broiler chickens. Thus, by the end of the experiment, the live weight of broiler chickens in control group No. 2 amounted to 3211.44 g, in control group No. 1 – 3184.61 g, in experimental group No. 2 – 3153.28 g, and in experimental group No. 1 – 3137.98 g. The study by Pappas A. C., Tsiplakou E., and Georgiadou M. (2014) reported that broilers fed binders based on bentonite showed less weight gain in the early stages of growth, but at the end of the study, no significant differences were found in body weight or organ weight [6]. Another study conducted by Fernandes J. I. M., Baldo J. S., and Ferreira A. C. P. (2022) showed that the use of binders has a positive effect on liver function, as evidenced by a decrease in the level of liver enzymes in the blood serum and a reduced number of histopathological changes compared to the control group of birds [8].

Based on the results of morphological studies and analysis of pathological changes in the internal organs of broiler chickens due to feeding them wheat grain contaminated with Alternaria, changes characteristic of the effect of mycotoxins were observed. When analyzing the condition of the

liver in groups of broiler chickens that consumed wheat grain contaminated with Alternaria, areas of necrosis and toxic dystrophy were recorded, along with single or multiple hematomas and whitish lesions. At the same time, the level of damage to internal organs in the groups of broiler chickens that received adsorbents was significantly higher, especially in experimental group No. 2, which indicates the detoxifying effect of the studied preparations.

Библиографический список

1. Саакян С. Микотоксины не страшны. Агромир XXI. 2012. № 8. С. 8-9.
2. Сатюкова Л. П., Смирнова И. Р., Михалев А. В. Современные методы определения микотоксинов в кормах. Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2011. № 2 (6). С. 37-39.
3. Plaumann P. L. et al. The dispensable chromosome is required for virulence in the hemibiotrophic plant pathogen Colletotrichum higginsianum. Frontiers in microbiology. 2018. V. 9. Art. 1005.
4. Somma S. et al. Alternaria species associated to wheat black point identified through a multilocus sequence approach. International Journal of Food Microbiology. 2019. V. 293. Pp. 34-43.
5. Aichinger G. et al. Alternaria toxins – Still emerging? Comprehensive reviews in food science and food safety. 2021. V. 20. №. 5. Pp. 4390-4406.
6. Pappas A. S. et al. Bentonite binders in the presence of mycotoxins: Results of in vitro preliminary tests and an in vivo broiler trial. Applied clay science. 2014. V. 99. Pp. 48-53.
7. Rajarammohan S. et al. Comparative genomics of Alternaria species provides insights into the pathogenic lifestyle of Alternaria brassicae-a pathogen of the Brassicaceae family. BMC genomics. 2019. V. 20. №. 1. Art. 1036.
8. Fernandes J. I. M. et al. Effect of adsorbents on diets with corn contaminated by mycotoxins on the productive performance and health of broilers. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2022. V. 44. Art. e53575.
9. Tessari E. N. C. et al. Effects of aflatoxin B1 and fumonisin B1 on blood biochemical parameters in broilers. Toxins. 2010. V. 2. № 4. Pp. 453-460.
10. Friesen T. L. et al. Host-specific toxins: effectors of necrotrophic pathogenicity. Cellular microbiology. 2008. V. 10. № 7. Pp. 1421-1428.
11. Khosravi A. R. et al. Isolation of toxigenic and nontoxigenic fungi from feedstuff referred to the center of mycology. Journal of Veterinary Research. 2004. V. 59. № 3. Pp. 221-226.
12. Keeler J. W. Host range and evolution of parasitism in Cuscuta. Annual Review of Plant Biology. 2019. V. 70. Pp. 41-63.
13. Estiarte N. et al. LaeA and VeA are involved in growth morphology, asexual development, and mycotoxin production in Alternaria alternate. International Journal of Food Microbiology. 2016. V. 238. Pp. 153-164.
14. Lee H. B., Patriarca A., Magan N. Alternaria in food: ecophysiology, mycotoxin production and toxicology. Mycobiology. 2015. V. 43. № 2. Pp. 93-106.
15. Lou J et al. Metabolites from Alternaria fungi and their bioactivities. Molecules. 2013. V. 18. № 5. Pp. 5891-5935.
16. Al-Nadabi H. H. et al. Molecular characterization and pathogenicity of Alternaria species on wheat and date palms in Oman. European journal of plant pathology. 2018. V. 152. № 3. Pp. 577-588.
17. Weidowski M. et al. Mycotoxins: a review of in vitro effects on mammalian cells and microorganisms. Toxicon. 2017. V. 131. Pp. 123-137.
18. Ostry V. Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. World Mycotoxin Journal. 2008. V. 1. № 2. Pp. 175-188.
19. Pozo V. F., Schroeder T. C. Evaluating the costs of meat and poultry recalls to food firms using stock returns. Food Policy. 2016. V. 59. Pp. 66-77.
20. Villalobos-Arce C. M. et al. Villalobos-Arce C.M. Alternaria species associated with postharvest spoilage of fresh fruits and vegetables: review. Journal of Food, Agriculture and Environment. 2014. V. 12. No 3-4. Pp. 123-130.
21. Yli-Mattila T., Sundheim L. Fumonisins in African countries. Toxins. 2022. V. 14. № 6. Art. 419.

References

1. Saakyan S. Mycotoxins are not dangerous. Agromir XXI. 2012. No 8. Pp. 8-9.
2. Satyukova L. P., Smirnova I. R., Mikhalev A. V. Modern methods for detecting mycotoxins in feed. Russian journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology. 2011. No 2 (6). Pp. 37-39.
3. Plaumann P. L. et al. The dispensable chromosome is required for virulence in the hemibiotrophic plant pathogen Colletotrichum higginsianum. Frontiers in microbiology. 2018. V. 9. Art. 1005.
4. Somma S. et al. Alternaria species associated to wheat black point identified through a multilocus sequence approach. International Journal of Food Microbiology. 2019. V. 293. Pp. 34-43.
5. Aichinger G. et al. Alternaria toxins – Still emerging? Comprehensive reviews in food science and food safety. 2021. V. 20. №. 5. Pp. 4390-4406.
6. Pappas A. S. et al. Bentonite binders in the presence of mycotoxins: Results of in vitro preliminary tests and an in vivo broiler trial. Applied clay science. 2014. V. 99. Pp. 48-53.
7. Rajarammohan S. et al. Comparative genomics of Alternaria species provides insights into the pathogenic lifestyle of Alternaria brassicae-a pathogen of the Brassicaceae family. BMC genomics. 2019. V. 20. №. 1. Art. 1036.
8. Fernandes J. I. M. et al. Effect of adsorbents on diets with corn contaminated by mycotoxins on the productive performance and health of broilers. Acta Scientiarum. Animal Sciences. 2022. V. 44. Art. e53575.
9. Tessari E. N. C. et al. Effects of aflatoxin B1 and fumonisin B1 on blood bio-chemical parameters in broilers. Toxins. 2010. V. 2. № 4. Pp. 453-460.
10. Friesen T. L. et al. Host-specific toxins: effectors of necrotrophic pathogenicity. Cellular microbiology. 2008. V. 10. № 7. Pp. 1421-1428.
11. Khosravi A. R. et al. Isolation of toxigenic and nontoxigenic fungi from feedstuff referred to the center of mycology. Journal of Veterinary Research. 2004. V. 59. № 3. Pp. 221-226.

12. Keeler J. W. Host range and evolution of parasitism in Cuscuta. Annual Re-view of Plant Biology. 2019. V. 70. Pp. 41-63.
13. Estiarte N. et al. LaeA and VeA are involved in growth morphology, asexual development, and mycotoxin production in Alternaria alternate. International Journal of Food Microbiology. 2016. V. 238. Pp. 153-164.
14. Lee H. B., Patriarca A., Magan N. Alternaria in food: ecophysiology, mycotoxin production and toxicology. Mycobiology. 2015. V. 43. № 2. Pp. 93-106.
15. Lou J et al. Metabolites from Alternaria fungi and their bioactivities. Molecules. 2013. V. 18. № 5. Pp. 5891-5935.
16. Al-Nadabi H. H. et al. Molecular characterization and pathogenicity of Alter-naria species on wheat and date palms in Oman. European journal of plant pathology. 2018. V. 152. № 3. Pp. 577-588.
17. Weidowski M. et al. Mycotoxins: a review of in vitro effects on mammalian cells and microorganisms. Toxi-con. 2017. V. 131. Pp. 123-137.
18. Ostry V. Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, pro-ducers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. World Mycotoxin Journal. 2008. V. 1. № 2. Pp. 175-188.
19. Pozo V. F., Schroeder T. C. Evaluating the costs of meat and poultry recalls to food firms using stock re-turns. Food Policy. 2016. V. 59. Pp. 66-77.
20. Villalobos-Arce C. M. et al. Villalobos-Arce C.M. Alternaria species associated with postharvest spoilage of fresh fruits and vegetables: review. Journal of Food, Agriculture and Environment. 2014. V. 12. No 3-4. Pp. 123-130.
21. Yli-Mattila T., Sundheim L. Fumonisins in African countries. Toxins. 2022. V. 14. № 6. Art. 419.

Информация об авторах
Медведева Вероника Анатольевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26).
Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru
Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru
Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: esvoronts@mail.ru
Водянникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru
Authors' Information
Medvedeva Veronika Anatolyevna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26)
Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru
Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru
Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru
Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-50

THE PROTEIN-VITAMIN-MINERAL CONCENTRATE "L.E.D." EFFECT ON THE DAIRY COWS' PRODUCTIVITY DURING THE HEAT STRESS

[1]Negomodzyanov D. A., [2]Chekhranova S. V., [1]Shvetsov N. N., [3]Fomin V. S.

[1]Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin
Belgorod, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[3]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 06.04.2026 Submitted 15.06.2026

Abstract

Introduction. The aim of this study was to determine the optimal rate of addition of the protein-vitamin-containing concentrate "L.E.D." to lactating cow diets and to examine its effect on feed intake, milk yield, milk chemistry, and the economic efficiency of using the concentrate. This concentrate was chosen deliberately; when used on dairy cows during hot weather, their milk yield remains the same or decreases slightly. Therefore, the chosen question remains relevant. **Materials and methods.** The experimental studies were conducted at the agricultural enterprise "Sapphire-Agro" LLC, located in the Khomutovsky District of the Kursk Region. The study subjects were Simmental dairy cows during the milking season. Forty-eight animals were selected for the experiment and divided into four groups of 12 animals each, based on the prin-

ciple of analogy (taking into account age, live weight, productivity level, and physiological condition). The experimental design included variations in the inclusion levels of the protein-vitamin-mineral concentrate "L.E.D." in the diet. Animals in the control group received the basic diet without the addition of the test concentrate. In the experimental groups, L.E.D. protein-vitamin-mineral concentrate was additionally administered at doses of 50, 100, and 150 g per head per day, respectively. **Results and conclusions.** The inclusion of the test protein-vitamin-mineral concentrate in the diet contributed to an increase in the palatability of the feed mixture. Thus, in the second group, this indicator increased to 83.3 %, in the third – to 89.0 %, and in the fourth – to 84.9 %. The most pronounced effect was observed at a dosage of 100 g/head/day, indicating the optimal level of supplement administration in terms of stimulating feed consumption. An analysis of milk production dynamics revealed that, under heat stress conditions, daily milk yield decreased in all groups compared to the equalization period. In the control group, daily milk yield decreased by 5.4 kg, or 23.8 %, indicating a significant depressing effect of high temperatures on cow productivity. This figure was significantly lower in the experimental groups: 2.5 kg (9.7 %) in the second group, 1.5 kg (5.6 %) in the third, and 1.6 kg (6.0 %) in the fourth.

Keywords: *Feed mixture recipes, dairy cows, diets for dairy cows, milk production of cows, component composition of cow milk.*

Citation. Negomodzyanov D. A., Chekhranova S. V., Shvetsov N. N., Fomin V. S. The protein-vitamin-mineral concentrate “L.E.D.” effect on the dairy cows’ productivity during the heat stress. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 447-454 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-50.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
Authors' contribution. All authors participated in the planning, implementation, and analysis of the obtained research results. The presented version of the article was approved by all authors.
Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 636.2.034:591.543

ВЛИЯНИЕ БВМК «Л.Е.Д.» НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДОЙНЫХ КОРОВ ВО ВРЕМЯ ТЕПЛОВОГО СТРЕССА

[1]Негомодзянов Д. А., *аспирант*
[2]Чехранова С. В., *доктор сельскохозяйственных наук*, *доцент*
[1]Швецов Н. Н., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]Фомин В. С.

[1]ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ имени В. Я. Горина
г. Белгород, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[3]ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Целью работы было определить оптимальную норму ввода БВМК «Л.Е.Д.» в рационы лактирующих коров, изучить его влияние на поедаемость кормосмеси, продуктивность, химический состав молока и экономическую эффективность использования изучаемого концентрата. Этот концентрат выбран нами не случайно: при его использовании на дойных коровах в жаркое время их удои остаются на прежнем уровне или снижаются незначительно. В связи с этим выбранная тема остается актуальной. **Материалы и методы.** Экспериментальные исследования проведены в условиях сельскохозяйственного предприятия ООО «Сапфир-Агро», расположенного в Хомутовском районе Курской области. Объектом исследования служили дойные коровы симментальской породы в период раздоя. Для проведения опыта было отобрано 48 животных, которые по принципу аналогов (с учетом возраста, живой массы, уровня продуктивности и физиологического состояния) были распределены на четыре группы по 12 голов в каждой. Схема опыта предусматривала различия в уровне включения белково-витаминно-минерального концентрата «Л.Е.Д.» в состав рациона. Животные контрольной группы получали основной рацион без добавления исследуемого концентрата. В опытных группах БВМК «Л.Е.Д.» вводили дополнительно в дозах 50, 100 и 150 г на голову в сутки соответственно. **Результаты и выводы.** Включение в рацион исследуемого белково-витаминно-минерального концентрата способствовало повышению поедаемости кормосмеси. Показатель поедаемости кормосмеси во второй группе достиг 83,3 %, в третьей – 89,0 %, в четвёртой – 84,9 %. Дозировка 100 г на голову в сутки дала самый заметный сдвиг в потреблении корма, выйдя на уровень, который можно считать точкой наибольшего отклика. Дальнейшее увеличение дозы не сопровождалось пропорциональным ростом поедаемости. Тепловой стресс снизил суточные удои по всем группам относительно уравнительного периода. Контрольная группа потеряла 5,4 килограмма молока на голову в сутки, или 23,8 % от исходного уровня. Для опытных групп падение продуктивности

оказалось менее значительным. Во второй группе суточный удой сократился на 2,5 кг – 9,7 %. Третья группа показала снижение на 1,5 кг, 5,6 %. Четвёртая – на 1,6 кг, 6,0 %. Разница между третьей и четвёртой группами практически отсутствовала, обе дозировки сработали схожим образом.

Ключевые слова: *рецепты кормосмесей, дойные коровы, рационы дойных коров, молочная продуктивность коров, компонентный состав молока коров.*

Цитирование. Негомодзянов Д. А., Чехранова С. В., Швецов Н. Н., Фомин В. С. Влияние БВМК «Л.Е.Д.» на продуктивность дойных коров во время теплового стресса. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 447-454. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-50.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. В современных условиях развития молочного скотоводства одной из наиболее значимых проблем является влияние климатических факторов на продуктивность животных. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к повышению температуры окружающей среды в летний период, что приводит к формированию неблагоприятных условий содержания крупного рогатого скота и развитию теплового стресса у животных [1, 3, 4, 5, 6].

Тепловой стресс сопровождается нарушением терморегуляции организма, снижением потребления кормов, изменением обменных процессов и, как следствие, уменьшением молочной продуктивности и ухудшением качества получаемой продукции. Особенно остро данная проблема проявляется у высокопродуктивных коров в период раздоя, когда уровень метаболической нагрузки на организм максимален [2, 5, 11, 12].

В связи с этим особую актуальность приобретает поиск эффективных способов снижения негативного воздействия теплового стресса на организм животных. Одним из перспективных направлений является совершенствование кормления за счет использования специализированных кормовых добавок, способных стабилизировать обмен веществ, повысить устойчивость животных к стрессовым факторам и обеспечить сохранение продуктивности [7, 8, 9, 10].

В настоящее время в практике кормления молочного скота широко применяются белково-витаминно-минеральные концентраты, обладающие комплексным действием. Их использование позволяет не только сбалансировать рационы по основным питательным веществам, но и компенсировать дефицит макро- и микроэлементов, усиливающийся в условиях теплового стресса.

На рынке представлен большой выбор источников минералов, витаминов и других балансирующих и биологически активных добавок [13, 14, 15, 16].

Однако, несмотря на наличие некоторых исследований, вопросы оптимизации дозировок и оценки эффективности отдельных видов кормовых добавок в условиях повышенных температур остаются недостаточно изученными. В частности, требует научного обоснования применение белково-витаминно-минерального концентрата «Л.Е.Д.» в рационах лактирующих коров в период теплового стресса.

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования явилось определение оптимальной нормы включения БВМК «Л.Е.Д.» в рационы дойных коров и оценка его влияния на поедаемость кормосмеси, уровень молочной продуктивности, химический состав молока и экономическую эффективность производства.

Целью работы было определить оптимальную норму ввода БВМК «Л.Е.Д.» в рационы лактирующих коров, изучить его влияние на поедаемость кормосмеси, продуктивность, химический состав молока и экономическую эффективность использования изучаемого концентрата.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проведены в условиях сельскохозяйственного предприятия ООО «Сапфир-Агро», расположенного в Хомутовском районе Курской области.

Объектом исследования служили дойные коровы симментальской породы в период раздоя. Для проведения опыта было отобрано 48 животных, которые по принципу параналогов (с учетом возраста, живой массы, уровня продуктивности и физиологического состояния) были распределены на четыре группы по 12 голов в каждой.

Животные всех групп содержались в одинаковых условиях, соответствующих принятой в хозяйстве технологии. Кормление осуществляли полнорационной кормосмесью, приготовленной из имеющихся в хозяйстве кормов. В состав рациона входили: солома ячменная, сено злаково-бобовое, силос кукурузный, сенаж люцерновый, патока и комбикорм. Кормосмесь раздавалась на кормовой стол с одинаковой кратностью для всех групп животных. При составлении методики исследований выработалась следующая схема опыта (таблица 1).

При составлении методики исследований выработалась следующая схема опыта (таблица 1).

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experimental scheme

Группа / Group	Количество животных, голов / Number of animals	Особенности кормления / Feeding characteristics	Длительность главного периода опыта, сут. / Duration of the main experimental period, days
1 (контрольная) / Control 1	12	ОР (солома ячменная, сено злаково-бобовое, силос кукурузный, сенаж люцерновый, патока свекловичная, комбикорм) в виде кормосмеси без добавления в нее БВМК «Л.Е.Д.» / The main diet (barley straw, grass-legume hay, corn silage, lucerne haylage, beet molasses, compound feed) in the form of a feed mixture without adding the protein-vitamin-mineral concentrate “L.E.D.”	100
2 (опытная) / experimental 2	12	ОР + 50 г/гол./сут. БВМК «Л.Е.Д.» / The main diet + 50 g/head/day of the protein-vitamin-mineral concentrate “L.E.D.”	100
3 (опытная) / experimental 3	12	ОР + 100 г/гол./сут. БВМК «Л.Е.Д.» / Main diet + 100 g/head/day of protein-vitamin-mineral concentrate “L.E.D.”	100
4 (опытная) / experimental 2	12	ОР + 150 г/гол./сут. БВМК «Л.Е.Д.» / Main diet + 150 g/head/day of protein-vitamin-mineral concentrate “L.E.D.”	100

Схема опыта предусматривала различия в уровне включения белково-витаминно-минерального концентрата «Л.Е.Д.» в состав рациона. Животные контрольной группы получали основной рацион без добавления исследуемого концентрата. В опытных группах БВМК «Л.Е.Д.» вводили дополнительно в дозах 50, 100 и 150 г на голову в сутки соответственно.

Продолжительность основного периода опыта составила 100 суток. В течение данного периода проводили учет потребления кормов, молочной продуктивности и качественных показателей молока.

Поедаемость кормосмеси определяли методом контрольных кормлений с периодичностью один раз в декаду путем учета заданного и фактически потребленного количества кормов. Молочную продуктивность учитывали путем проведения контрольных доек с интервалом 10 суток.

Химический состав молока (массовая доля жира и белка) определяли стандартными методами лабораторного анализа, принятыми в практике зоотехнических исследований.

Затраты кормов на производство молока рассчитывали в энергетических кормовых единицах (ЭКЕ) на 1 кг продукции. Экономическую эффективность применения БВМК «Л.Е.Д.» оценивали на основе расчета затрат на кормление, выручки от реализации молока, прибыли и уровня рентабельности.

В данном опыте вели учет кормосмеси, которую животные съели, и делали это по контрольным кормлениям, которые проводили подекадно. Суточные удои молока также контролировали через каждые 10 дней. В надоенном молоке устанавливали процент жира и белка. По учтенным затратам кормов считали сколько их пошло на 1 кг молока. Также определяли некоторые экономические показатели.

Результаты и обсуждение. В условиях повышенной температуры окружающей среды у дойных коров отмечено снижение поедаемости кормосмеси, что является одним из ключевых факторов, ограничивающих уровень молочной продуктивности.

В хозяйстве, где проводили опыт в жаркое время года, применяли полнорационную кормосмесь (таблица 2). Она была составлена из кормов, которые присутствовали в хозяйстве.

Таблица 2 – Масса заданной и потребленной кормосмеси (кг/гол./сут)
Table 2 – Weight of the given and consumed feed mixture (kg/head/day)

Наименование корма / Feed name	Группа / Group			
	1	2	3	4
Солома ячменная / Barley straw	0,23	0,25	0,27	0,25
Сено злаково-бобовое / Grass-legume hay	1,16	1,25	1,34	1,27
Силос кукурузный / Corn silage	13,8	15,31	16,32	15,59
Сенаж люцерновый / Alfalfa haylage /	14,31	15,79	17,57	16,29
Патока свекловичная / Beet molasses	1,2	1,2	1,2	1,2
Комбикорм / Compound feed	8,0	8,0	8,0	8,0
Фактически потреблено в сутки / Actual daily consumption	38,7	41,8	44,7	42,6
Задано в сутки / Issued daily	50,2	50,2	50,2	50,2

Контрольная группа, не получавшая БВМК «Л.Е.Д.», потребила 77,1 % кормосмеси от заданного количества. Тепловой стресс заметно угнетал кормовое поведение.

Включение в рацион исследуемого белково-витаминно-минерального концентрата способствовало повышению поедаемости кормосмеси. Так, во второй группе данный показатель увеличился до 83,3 %, в третьей – до 89,0 %, а в четвертой – до 84,9 %. Наиболее выраженный эффект отмечен при дозировке 100 г/гол./сут, что указывает на оптимальный уровень введения добавки с точки зрения стимуляции потребления корма.

Поедаемость кормосмеси в опытных группах, вероятно, поднялась за счёт улучшения обменных процессов и ослабления давления теплового стресса на физиологическое состояние. Данный факт имеет принципиальное значение, поскольку уровень потребления сухого вещества является определяющим фактором молочной продуктивности.

Суточные удои в условиях теплового стресса упали во всех группах относительно уравнительного периода. Однако степень этого снижения существенно различалась в зависимости от применения БВМК «Л.Е.Д.».

В контрольной группе снижение суточного удоя составило 5,4 кг, или 23,8 %, что свидетельствует о значительном угнетающем воздействии высоких температур на продуктивность коров. В опытных группах данный показатель был значительно ниже: во второй группе – 2,5 кг (9,7 %), в третьей – 1,5 кг (5,6 %), в четвертой – 1,6 кг (6,0 %).

Самый высокий уровень молочной продуктивности зафиксирован в третьей группе, получавшей 100 граммов концентрата на голову в сутки. Дозировка обеспечила наиболее полную компенсацию негативного действия теплового стресса.

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, указывающих на положительное влияние кормовых добавок на сохранение продуктивности животных в стрессовых условиях, однако в данном случае установлена конкретная эффективная дозировка.

Анализ качественного состава молока показал, что тепловой стресс оказывал отрицательное влияние на массовую долю жира, тогда как содержание белка оставалось относительно стабильным. В контрольной группе снижение жирности составило около 0,3 %, в то время как в опытных группах – 0,15-0,2 %, что свидетельствует о частичной стабилизации липидного обмена при использовании БВМК «Л.Е.Д.».

Затраты кормов на килограмм молока в опытных группах сократились на 0,01-0,02 ЭКЕ, что указывает на повышение эффективности использования кормов при включении исследуемого концентрата в рацион.

Эффективность ввода БВМК «Л.Е.Д.» в основной рацион дойных коров представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Эффективность ввода БВМК «Л.Е.Д.» в основной рацион дойных коров (на 1 голову)
Table 3 – Efficiency of introducing BVMK L.E.D. into the main diet of dairy cows (per 1 head)

Показатели / Indicators	Группа / Group			
	1	2	3	4
Период кормления концентратом, сут. / Feeding period with concentrate, days	100	100	100	100
Потреблено кормосмеси натуральной влажности за время опыта, ц / Consumption of natural-moisture feed mixture during the experiment, centners	38,70	41,80	44,70	42,60
в том числе БВМК «Л.Е.Д.», кг / including “L.E.D.” PVMC, kg	-	5,0	10,0	15,0
Стоимость потребленной кормосмеси, тыс. руб. / Cost of consumed feed mixture, thousand rubles	44,00	48,28	52,32	50,69
в том числе БВМК «Л.Е.Д.», руб. / including “L.E.D.” PVMC, rubles	-	750	1500	2250
% к контролю / % compared to the control	100	109,7	118,9	115,2
Получено молока за опытный период, ц / Milk yield during the experimental period, centners	22,70	25,70	26,70	26,50
Доход от реализации молока, тыс. руб. / Revenue from milk sales, thousand rubles	85,12	96,37	100,12	99,37
Затраты, тыс. руб. на 1 голову / Costs, thousand rubles per head	70,32	76,60	77,15	78,12
Прибыль, тыс. руб. на 1 голову / Profit, thousand rubles per head	14,80	19,77	22,97	21,25
Уровень рентабельности, % / Profitability rate, %	21,0	25,8	29,8	27,2

Экономическая оценка показала, что применение БВМК «Л.Е.Д.» является целесообразным. Несмотря на увеличение затрат на кормление, связанное с введением добавки, рост молочной продуктивности обеспечил повышение выручки и прибыли.

Наибольшие экономические показатели получены в третьей группе животных. При дозировке 100 г/гол./сут прибыль на одну голову составила 22,97 тыс. руб., а уровень рентабельности достиг 29,8 %, что превышает показатели контрольной группы на 8,8 п. п.

Таким образом, установлено, что применение БВМК «Л.Е.Д.» в рационах дойных коров в условиях теплового стресса способствует повышению поедаемости кормосмеси, снижению потерь молочной продуктивности, стабилизации качественных показателей молока и улучшению экономической эффективности производства.

Заключение. Проведенные исследования позволили установить закономерности влияния белково-витаминно-минерального концентрата «Л.Е.Д.» на продуктивные и физиологические показатели дойных коров в условиях теплового стресса.

Установлено, что повышение температуры окружающей среды оказывает выраженное отрицательное влияние на поедаемость кормосмеси, уровень молочной продуктивности и массовую долю жира в молоке. В контрольной группе снижение суточных удоев достигало 23,8 %, что свидетельствует о значительном угнетающем воздействии теплового фактора на организм животных.

Включение БВМК «Л.Е.Д.» в состав рациона способствовало снижению негативных последствий теплового стресса. Отмечено повышение поедаемости кормосмеси на 6,2-11,9 % по сравнению с контролем, а также уменьшение степени снижения молочной продуктивности до 5,6-9,7 %.

Наиболее выраженный положительный эффект получен при дозировке 100 г/гол./сут. В данной группе снижение суточного удоя составило всего 1,5 кг (5,6 %), что в 3,6 раза ниже по сравнению с контролем. Кроме того, применение указанной дозы способствовало стабилизации массовой доли жира в молоке и повышению эффективности использования кормов.

Экономическая оценка показала, что использование БВМК «Л.Е.Д.» является целесообразным. Максимальные показатели прибыли (22,97 тыс. руб. на голову) и уровня рентабельности (29,8 %) получены при включении концентрата в дозе 100 г/гол./сут.

Таким образом, установлена оптимальная норма введения БВМК «Л.Е.Д.» в рационы дойных коров в условиях теплового стресса, обеспечивающая повышение продуктивности животных и экономической эффективности производства молока.

Conclusion. The conducted studies made it possible to establish the patterns of the influence of the protein-vitamin-mineral concentrate “L.E.D.” on the productive and physiological parameters of dairy cows under conditions of heat stress. It has been established that an increase in ambient temperature has a pronounced negative effect on the palatability of the feed mixture, the level of milk productivity, and the mass fraction of fat in milk. In the control group, the decrease in daily milk yield reached 23.8 %, which indicates a significant inhibitory effect of the heat factor on the animals’ bodies.

The inclusion of the L.E.D. BVMK in the diet helped reduce the negative effects of heat stress. An increase in the palatability of the feed mixture by 5.2-11.9 % compared to the control group was noted, as well as a reduction in the degree of decline in milk productivity to 5.6-9.7 %.

The most pronounced positive effect was observed at a dosage of 100 g per head per day. In this group, the decrease in daily milk yield was only 1.5 kg (5.6 %), which is 3.6 times lower compared to the control group. In addition, the use of this dose helped stabilize the fat content in milk and improve the efficiency of feed utilization. The economic assessment showed that the use of the “L.E.D.” BVMC is justified. The maximum profit indicators (22.97 thousand rubles per head) and the profitability level (29.8 %) were obtained when the concentrate was included at a dose of 100 g/head/day. Thus, the optimal rate of introducing the “L.E.D.” BVMK into the diets of dairy cows under conditions of heat stress has been established; it ensures an increase in animal productivity and the economic efficiency of milk production.

Библиографический список

1. Йылдырым Е. А., Ильина Л. А., Филиппова В. А., Калиткина К. А., Дубровин А. В. Состав микрофлоры химуса пищеварительной системы и молочная продуктивность коров в период раздоя под влиянием комплексного биопрепарата. Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 01. С. 46-58.

2. Машарова Н. С., Швецов Н. Н., Походня Г. С., Наумов М. М. Влияние БВМК "РумиМакс-Ц" на рост и рубцовое пищеварение телочек. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2020. № 2 (16). С. 78-86.

3. Иванова И. Е., Волынкина М. Г., Ковалева О. В., Петрова Ю. А. Влияние минерального премикса в рационе высокопродуктивных коров на обменные процессы в период раздоя. Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 129-134.

4. Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Сложенкина М. И. и др. Влияние новых кормовых добавок на продуктивность коров красной степной породы. Аграрный вестник Урала. 2023. № 4 (233). С. 61-69.

5. Горлов И. Ф., Антипова Т. А., Мосолова Н. И., Анисимова Е. Ю., Воронцова Е. С., Пузанова В. А., Кудряшова О. В., Сложенкина А. А. Влияние капельного орошения на продуктивность и качество молока коров в условиях теплового стресса. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 5 (77). С. 159-166.

6. Облогина Е. Ю., Забашта Н. Н., Головко Е. Н., Синельщикова И. А., Лисовицкая Е. П. Результаты применения кормовой добавки пробиотического действия для повышения продуктивности дойных коров. Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 01. С. 98-107.

7. Чехранова С. В., Агапова О. Ю., Акмалиев Т. А., Ермолова Л. Ф. Влияние премиксов на молочную продуктивность коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 1 (29). С. 131-135.

8. Чехранова С. В., Николаев С. И., Ионов В. В., Куприянов С. Н. Влияние премиксов на рост и развитие молодняка крупного рогатого скота. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (209). С. 47-51.

9. Гаркушин Е. В., Шубина Т. П. Влияние витаминов и минералов на состояние здоровья и продуктивность крупного рогатого скота. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (39.1). С. 38-41.

10. Тарасова К. Ю., Швецов Н. Н., Иевлев М. Ю., Иванов А. В. Молочная продуктивность коров при использовании в составе кормосмеси премикса «РумиМикс-3». Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2023. № 2 (28). С. 127-130.

11. Николаев С. И., Волколупов Г. В., Чехранова С. В., Акмалиев Т. А. Премиксы на основе рыжикового жмыха в кормлении крупного рогатого скота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 3 (39). С. 121-127.

12. Швецов Н. Н., Швецова М. Р., Походня Г. С. и др. Продуктивное действие рационов и регламентированного кормления в скотоводстве. Белгород: Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина, 2022. 259 с.

13. Горлов И. Ф., Шахбазова О. П., Кобыляцкий П. С. и др. Совершенствование технологии выращивания молодняка крупного рогатого скота. Молочное и мясное скотоводство. 2014. № 4. С. 5-8.

14. Ahola J. K., Skow T. A., Hunt C. W., Hill R. A. Relationship between residual feed intake and end prod-uct palatability in longissimus steaks from steers sired by Angus bulls divergent for intramuscular fat expected progeny difference. Professional Animal Scientist. 2011. Vol. 27. No 2. Pp. 109-115.

15. Carter J. N., Ludden P. A., Kerley M. S., Ellersieck M., Herring W. O., Berg E. Intramuscular Fat Deposition in Steers Is Accelerated at a Set Body Weight. Professional Animal Scientist. 2002. Vol. 18. No 2. Pp. 135-140.

16. Nikolaev S. I., Randelin A. V., Karapetyan A. K., et al. The effect of mineral complexes on the growth intensity of young bulls for sustainable agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, 2022. Art. 012026.

References

1. Yildirym E. A., Ilyina L. A., Filippova V. A., Kalitkina K. A., Dubrovin A. V. The composition of the microflora of the chyme of the digestive system and the milk productivity of cows during the milking period under the influence of a complex biological product // Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. V. 24. No. 01. Pp. 46-58.

2. Masharova N. S., Shvetsov N. N., Pokhodnya G. S., Naumov M. Influence of BVMK "Rumax-C" on calf growth and scar digestion. Topical issues of agricultural biology. 2020. № 2 (16). Pp. 78-86.

3. Ivanova I. E., Volynkina M. G., Kovaleva O. V., Petrov Yu. A. The influence of the mineral premix in the diet of highly productive cows on metabolic processes during the strife. Perm Agrarian Bulletin. 2018. № 2 (22). Pp. 129-134.

4. Gorlov I. F., Mosolova N. I., Skladenkina M. I., etc. Influence of new feed additives on productivity of red steppe cows. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. № 4 (233). Pp. 61-69.

5. Gorlov I. F., Antipova T. A., Mosolova N. I., Anisimova E. Yu., Vorontsova E. S., Puzyanova V. A., Kudryashova O. V., Slozhenkina A. A. The influence of drip irrigation on the productivity and quality of milk of cows under heat stress. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 5 (77). Pp. 159-166.
6. Ologina E. Yu., Zabashta N. N., Golovko E. N., Sinelshchikova I. A., Lisovitskaya E. P. Results of using a probiotic feed additive to increase the productivity of dairy cows. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. V. 24. No. 01. Pp. 98-107.
7. Chehranova S. V., Agapova O. Yu., Akmaliev T.A., Ermolova L. F. Influence of premixes on dairy productivity of cows. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2013. № 1 (29). Pp. 131-135.
8. Chehranova S. V., Nikolaev S. I., Ionov V. V., Kupriyanov S. N. The influence of premixes on the growth and development of young cattle. Bulletin of Altai State Agrarian University. 2022. № 3 (209). Pp. 47-51.
9. Garkushin E. V., Shubina T. P. Effects of vitamins and minerals on the health and productivity of cattle. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2021. № 1-1 (39). Pp. 38-41.
10. Tarasova K. Yu., Shvetsov N. N., Ievlev M. Yu., Ivanov A. V. Milk productivity of cows when using the Rumimix-3 premix as part of a feed mixture. Topical issues of agricultural biology. 2023. № 2 (28). Pp. 127-130.
11. Nikolaev S. I., Volkolupov G. V., Chehranova S. V., Akmaliev T. A. Premixes based on red cake in feeding cattle. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2015. № 3 (39). Pp. 121-127.
12. Shvetsov N. N., Shvetsova M. R., Pokhodnya G. S., etc. Productive effect of diets and regulated feeding in cattle breeding. Belgorod: Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, 2022. 259 p.
13. Gorlov I. F., Shakhbazova O. P., Kobylyatsky P. S. et al. Improving the technology of raising young cattle. Dairy and meat cattle breeding. 2014. № 4. Pp. 5-8.
14. Ahola J. K., Skow T. A., Hunt C. W., Hill R. A. Relationship between residual feed intake and end prod-uct palatability in longissimus steaks from steers sired by Angus bulls divergent for intramuscular fat expected progeny difference. Professional Animal Scientist. 2011. Vol. 27. No 2. Pp. 109-115.
15. Carter J. N., Ludden P. A., Kerley M. S., Ellersieck M., Herring W. O., Berg E. Intramuscular Fat Deposition in Steers Is Accelerated at a Set Body Weight. Professional Animal Scientist. 2002. Vol. 18. No 2. Pp. 135-140.
16. Nikolaev S. I., Randelin A. V., Karapetyan A. K., et al. The effect of mineral complexes on the growth intensity of young bulls for sustainable agriculture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volgograd, 2022. Art. 012026.

Информация об авторах
Негомодзянов Дмитрий Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ имени В. Я. Горина (Российская Федерация, 308503, Белгородская область, Белгородский район, пос. Майский, ул. Вавилова, 24), e-mail: 11061996@bk.ru
Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru
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
Фомин Вячеслав Сергеевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6).
Authors' Information
Negomodzyanov Dmitry Andreevich, postgraduate student, Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin (Russian Federation, 308503, Belgorod region, Belgorod district, Maysky village, Vavilova Str., 24), e-mail: 11061996@bk.ru
Chehranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru
Shvetsov Nikolai Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin (Russian Federation, 308503, Belgorod region, Belgorod district, Maysky village, Vavilova Str., 24), e-mail: vladimirnik50@yandex.ru
Fomin Vyacheslav Sergeevich, junior research assistant, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-51

THE EFFECTIVENESS OF USING THE BAKVIN FEED ADDITIVE WHEN FEEDING PIGLETS DURING THE GROWING PERIOD

[1]Popov A. A., [1]Koshchaev A. G., [2]Ryadnov A. A.

[1]Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kagbio@mail.ru, radnov@mail.ru

Received 02.06.2026 Submitted 29.06.2026

Abstract
Introduction. The weaning period in pig farming is considered to be the most critical and is marked by high piglet mortality. In this regard, we chose weaned piglets and the rearing period as the object of our study to investigate the effectiveness of the BakVin biologically active feed additive that we have developed. It has

both pre- and probiotic properties due to its base of grape pomace extract and the addition of a suspension of Bacillus subtilis bacterial culture cells, which, on the one hand, can help to better adapt to changes in diet and housing conditions, and on the other hand, can prevent possible dysbacteriosis and restore the immune deficiency in young animals. **Object.** The object of research is the feed additive BakVin and its effect on the productive indicators of weaned piglets. **Materials and methods.** The optimal dosage of the feed additive was determined on a three-breed hybrid of piglets in the Kuban Research Farm. The study examined the growth rate and survival rate of the animals, feed consumption, body measurements and indices, and blood parameters. **Results and conclusions.** During the justification of the use of the BakVin feed additive during the rearing period, it was found that drinking 1,5 % of the additive significantly ($p \leq 0.05$) increases the live weight and survival rate of piglets by 13,6 % and 6,4 %, respectively, and reduces feed conversion by 7,3 %. The intensive growth of young animals is confirmed by a significant increase in the amount of total protein (by 7,7 %) and albumins (by 12,8 %) in the blood, as well as an increase in the level of AST (by 6,1 %), and a decrease in the amount of urea (by 18,7 %) and cholesterol (by 11,2 %). In general, the use of the feed additive BakVin stimulates the adaptability of weanlings to environmental factors, which is confirmed by a significant ($p \leq 0.05$) increase in the level of bactericidal (by 7,1 %) and phagocytic (by 5,7 %) activity, which is responsible for the cellular factor of protection.

***Keywords**: grape pomace polyphenols, feed antibiotics, biologically active feed additives, BakVin, piglets, three-breed pig hybrids, piglet survival rate, pig exterior profile, piglet blood parameters.*

Citation. Popov A. A., Koshchaev A. G., Ryadnov A. A. The effectiveness of using the BakVin feed additive when feeding piglets during the growing period. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 454-461 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-51.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this research. All authors of this article have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.4.087.7:612.015

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ БАКВИН ПРИ ВЫПАИВАНИИ ПОРОСЯТ В ПЕРИОД ДОРАЩИВАНИЯ

[1]Попов А. А., *аспирант*
[1]Кощаев А. Г., *академик РАН, доктор биологических наук, профессор*
[2]Ряднов А. А., *доктор биологических наук, профессор*

[1]ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Период отъема в технологии выращивания свиней считается самым кризисным и отмечен высокой смертностью поросят. В связи с этим в качестве объекта исследования мы выбрали поросят-отъемышей и период доращивания для изучения эффективности применения разработанной нами биологически активной кормовой добавки БакВин. Она обладает как пре-, так и пробиотическими свойствами за счет основы из экстракта виноградных выжимок и добавления суспензии клеток бактериальной культуры *Bacillus subtilis*, что, с одной стороны, может способствовать лучшей адаптации к смене рациона и условиям содержания, а с другой – профилактировать возможные дисбактериозы и восстановить иммунодефицит организма молодняка. **Объект.** Объектом исследования является кормовая добавка БакВин и ее влияние на продуктивные показатели поросят-отъемышей. **Материалы и методы.** Оптимальную дозировку выпаивания кормовой добавки определяли на трехпородном гибриде поросят в условиях учхоза «Кубань». В ходе исследования изучили интенсивность роста и сохранность животных, расход корма, промеры и индексы телосложения, показатели крови. **Результаты и выводы.** В ходе обоснования применения кормовой добавки БакВин в период доращивания установлено, что выпаивание 1,5 % добавки достоверно ($p \leq 0,05$) повышает живую массу и сохранность поросят на 13,6 и 6,4 %, а также снижает конверсию корма на 7,3 %. Интенсивный рост молодняка подтверждается достоверным увеличением в крови количества общего белка (на 7,7 %) и альбуминов (на 12,8 %), уровня АСТ (на 6,1 %), снижением количества мочевины (на 18,7 %) и холестерина (на 11,2 %). В целом, применение кормовой добавки БакВин стимулирует адаптивность отъемышей к факторам внешней среды, что подтверждено достоверным ($p \leq 0,05$) ростом уровня бактерицидной (на 7,1 %) и фагоцитарной (на 5,7 %) активности, отвечающей за клеточный фактор защиты.

***Ключевые слова:** полифенолы виноградных выжимок, кормовые антибиотики, биологически активные кормовые добавки, БакВин, поросята, трехпородные гибриды свиней, сохранность поросят, экстерьерный профиль свиней, показатели крови поросят.*

Цитирование. Попов А. А., Кощаев А. Г., Ряднов А. А. Эффективность применения кормовой добавки БакВин при выпаивании поросят в период доращивания. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 454-461. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-51.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. С 1 марта 2023 г. в стране введен запрет на бесконтрольное использование антибиотиков в животноводстве в рамках активной борьбы с антибиотикорезистентностью у людей и животных (https://kombikorm.ru) [7]. Альтернативой кормовым антибиотикам могут стать полифенолы виноградных выжимок благодаря своим антиоксидантным и противомикробным свойствам [3, 4, 5, 8, 10, 11, 12]. Так, к примеру, дубильные вещества, а именно танины, входящие в состав полифенолов виноградного сырья, обладают бактерицидным эффектом и могут предотвращать расстройства кишечника [9]. Наиболее чувствительным к патогенной микрофлоре, провоцирующей симптомы диареи и диспепсии, является молодняк животных. Эти симптомы зачастую объясняют повышенную смертность в этой возрастной группе [1].

Нами была разработана биологически активная кормовая добавка БакВин, обогащенная полифенолами из красных виноградных выжимок и имеющая титр жизнеспособных бактериальных клеток не менее 1×10^8 КОЕ/г. Добавка представляет собой мутноватую жидкость от темно-бордового до коричневого цвета со специфическим ароматом [6]. За счет полифенолов из экстракта виноградных выжимок и суспензии клеток бактериальной культуры *Bacillus subtilis* она обладает как пре-, так и пробиотическими свойствами, что, с одной стороны, может способствовать лучшей адаптации к смене рациона и условиям содержания, а с другой, профилактировать возможные дисбактериозы и восстанавливать иммунодефицит организма молодняка. Оценка токсикологии биологически активной кормовой добавки БакВин по состоянию лабораторных животных показала ее безвредность [2].

Целью наших исследований являлось изучение эффективности применения разработанной нами кормовой добавки БакВин поросятам в период доращивания и определение оптимальной дозировки, путем изучения интенсивности их роста и сохранности, конверсии корма, экстерьерного профиля, а также гематологических и биохимических показателей крови.

Материалы и методы. *Объект исследований*. Биологически активная кормовая добавка БакВин, обогащенная полифенолами из красных виноградных выжимок, с титром жизнеспособных бактериальных клеток не менее 1×10^8 КОЕ/г.

Научно-хозяйственные исследования. Определение оптимальной дозы проведено на поросятах-отъемышах породы Ландрас × Йоркшир × Дюрок в условиях УПК «Пятачок» учхоза «Кубань» (структурное подразделение ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ). Месячных поросят разделили на пять групп (n = 50): контроль и четыре опытные (дозы 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 %). Длительность опыта составила 50 дней. Технология содержания и кормления животных соответствовала установленным нормам хозяйства. Раздачу корма осуществляли с помощью бункерных самокормушек. Воду поросята получали посредством ниппельной автопоилки, животным опытных групп круглосуточно в систему поения с помощью дозатора вводили разработанную нами биологически активную кормовую добавку БакВин.

Изучили интенсивность роста поросят путем индивидуального взвешивания в месячном, 50- и 80-дневном возрасте, сохранность по соотношению их количества на конец опыта к его началу, конверсию корма с учетом расхода корма на единицу прироста живой массы животного, экстерьерный профиль путем измерения промеров с помощью мерной ленты и мерной палки с последующим расчетом индексов телосложения, а также морфологический (анализатор Medonic CA 620) и биохимический (анализатор Stat Fax 1904 Plus) составы крови.

Экспериментальные результаты обработаны методом вариационной статистики с использованием программы Microsoft Office Excel. Достоверность различий определяли по критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Интенсивность роста поросят мы изучили по динамике живой массы, абсолютному, среднесуточному и относительному приростам (таблица 1). Отмечено достоверное ($p \le 0,05$) увеличение живой массы животных как через 20 дней, так

и через 30 дней выращивания в сравнении с особями контрольной группы во второй опытной группе, поросята которой получали 1,0 % кормовой добавки с водой, на 7,4 и 8,8 %, а в третьей опытной группе, получавшей 1,5 % кормовой добавки с водой, – на 9,5 и 13,6 %. Также интенсивный рост, опережающий показатели поросят контрольной группы, отмечен и в четвертой опытной группе на 10,3 и 14,6 %, однако полученные данные были недостоверными и ненамного опережали показатели сверстников третьей опытной группы – на 0,73 и 1,06 п.п. Сохранность поросят в опытных группах была 98-100 %, что на 4-6 % выше в сравнении с показателем контрольной группы.

В целом следует отметить, что введение разработанной нами кормовой добавки в период доращивания способствовало увеличению живой массы по абсолютному приросту у подопытных животных в сравнении с контрольной группой на 8,9 % (1-я опытная), на 11,9 % (2-я опытная), на 18,2 % (3-я опытная) и на 19,5 % (4-я опытная); среднесуточный прирост за весь период опыта составил 8,3 % (1-я опытная), 12,5 % (2-я опытная), 18,7 % (3-я опытная) и 20,8 % (4-я опытная). Наилучшие результаты по относительному приросту живой массы по периодам отмечены в третьей и четвертой опытных группах, поросята которых получали 1,5 и 2,0 % кормовой добавки с водой. Так, в этих группах относительный прирост по сравнению с контрольной группой был выше на 5,4 и 5,8 %, что опережает показатели 1-й и 2-й опытных групп на 2,4 и 1,6 п.п. (3-я опытная) и на 2,7 и 1,9 п.п. (4-я опытная) соответственно.

Таблица 1 − Оценка динамики живой массы поросят в период доращивания при подборе оптимальной дозировки кормовой добавки БакВин
Table 1 – Evaluation of the dynamics of piglets' live weight during the rearing period when selecting the optimal dosage of the feed additive BakVin

Показатель / Indicator	Группа / Group				
	контрольная / control	первая опытная / test 1	вторая опытная / test 2	третья опытная / test 3	четвертая опытная / test 4
Живая масса 30-дневных поросят, кг (на начало опыта) / Live weight of 30-day-old piglets, kg (at the beginning of the experiment)	7,88 ± 0,20	7,81 ± 0,19	7,82 ± 0,18	7,84 ± 0,20	7,85 ± 0,19
Живая масса 50-дневных поросят, кг (смена рациона) / Live weight of 50-day-old piglets, kg (change in diet)	16,53 ± 0,57	16,97 ± 0,41	17,76 ± 0,48*	18,11 ± 0,79*	18,23± 0,93
Живая масса 80-дневных поросят, кг (на конец опыта) / Live weight of 80-day-old piglets, kg (at the end of the experiment)	32,16 ± 1,32	34,27 ± 1,23	34,98 ± 1,34*	36,53 ± 1,75*	36,87± 1,95
Сохранность, % / Preservation rate, %	94	98	100	100	100
Абсолютный прирост живой массы за весь период / Absolute gain in live weight over the entire period	24,28	26,46	27,16	28,69	29,02
% к контролю / % for the control	–	+ 8,97	+ 11,86	+ 18,16	+ 19,52
Среднесуточный прирост живой массы за весь период / Average daily gain in live weight over the entire period /	0,48	0,52	0,54	0,57	0,58
% к контролю / % for the control	–	+ 8,33	+ 12,50	+ 18,75	+ 20,83
Относительный прирост живой массы за весь период / Relative increase in live weight over the entire period	67,25	69,32	69,83	70,92	71,14
% к контролю / % for the control	–	+ 3,07	+ 3,83	+ 5,45	+ 5,78
* − p ≤ 0,05					

Эффективность свиноводства во многом зависит от такого показателя, как «конверсия корма», отражающего соотношение затраченных кормов к приросту живой массы. В связи с этим, подбирая оптимальную дозировку разработанной нами кормовой добавки БакВин, мы по завершению научно-хозяйственного опыта оценили расход корма на единицу прироста живой массы поросенка (рисунок 1).

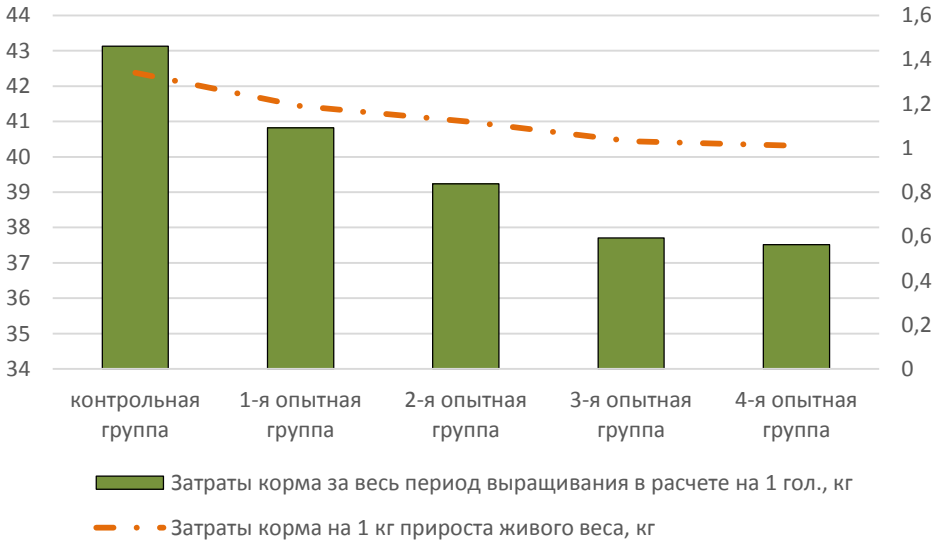


Рисунок 1 – Конверсия корма при выпаивании поросят-отъемышей кормовой добавкой БакВин
Figure 1 – Feed conversion when weaning piglets with the BakVin feed additive

На рисунке видно, что за весь период выращивания в опытных группах, получавших разработанную кормовую добавку БакВин с водой, затраты корма на одну голову были ниже, чем в контрольной группе: в первой опытной группе – на 5,4 %, во второй опытной группе – на 9,0 %, в третьей опытной группе – на 12,6 % и в четвертой опытной группе – на 13,0 %. При этом кормов на прирост 1 кг живого веса в опытных группах также было затрачено меньше на 11,2-24,6 %.

В целом, о развитии животных дать заключение позволяет экстерьерная оценка, как упоминается и в диссертационном исследовании В. В. Шкредова (2022). В связи с этим по завершении опыта и достижения поросятами 80-дневного возраста, для оценки экстерьерного профиля животных мы изучили их линейный рост, произведя основные промеры тела (высота в холке, обхват в груди за лопатками, ширина у груди за лопатками, глубина груди, длина туловища), и на рисунке 2 показали степень отличия поросят опытных групп от сверстников из контрольной группы.

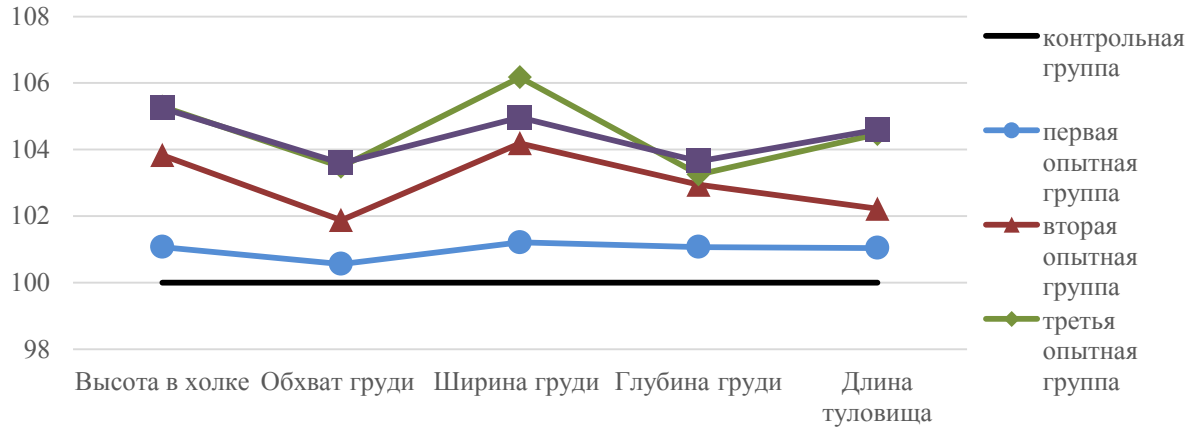


Рисунок 2 – Экстерьерный профиль поросят-отъемышей по завершении опыта
Figure 2 – Exterior profile of weanling pigs at the end of the experiment

Полученные нами результаты также указывают на благотворный эффект от применения биологически активной кормовой добавки БакВин. Так, по сравнению со сверстниками контрольной группы отмечено достоверное ($p \leq 0,05$) увеличение показателей поросят во второй опытной группе, получавшей 1,0 % кормовой добавки: по высоте в холке – на 3,8 %, по обхвату в груди за лопатками – на 1,9 % и по ширине груди за лопатками – на 4,2 %. В третьей опытной группе, получавшей 1,5 % кормовой добавки, эти показатели достоверно ($p \leq 0,05$) выросли на 5,3; 3,5 и 6,2 %, при этом улучшился и показатель по длине туловища на 4,5 %. Также по высоте в холке и обхвату груди за лопатками достоверно ($p \leq 0,05$) отличились и поросята четвертой опытной группы, получавшей 2,0 % кормовой добавки, опередив сверстников на 5,2 и 3,6 %.

Для более наглядного сравнения экстерьерных особенностей по группам мы рассчитали индексы телосложения (таблица 2), чтобы оценить пропорциональность телосложения (Комлацкий В. И. и др., 2008).

Таблица 2 – Индексы телосложения поросят-отъемышей в 80-дневном возрасте, %
Table 2 – Body structure indices of weanling pigs at 80 days of age, %

Показатель / Indicator	Группа / Group				
	контрольная / control	первая опытная / test 1	вторая опытная / test 2	третья опытная / test 3	четвертая опытная / test 4
Длинноногость / Long legs	47,88	47,88	48,32	48,89	48,67
Растянутость / Stretching	173,56	173,51	170,87	172,20	172,49
Грудной / Chest	81,77	80,89	81,75	82,06	81,79
Сбитость / Compact body	90,16	89,73	89,87	89,32	89,29
Массивность / Massiveness	156,48	155,70	153,55	153,80	154,02

Индексы телосложения – это процентное отношение анатомически связанных между собой промеров тела животного, и с помощью которых можно более точно оценить экстерьерные особенности поросят в разных группах. Так, степень развитости и в целом тип телосложения характеризует индекс длинноногости. Для мясного типа свиней характерны относительно высокие ноги. Поросята второй, третьей и четвертой опытных групп по этому индексу опережали сверстников контрольной и первой опытной групп на 0,9 %, 2,1 % и 1,6 %. Об относительном развитии самого туловища и массы тела можно судить по индексам массивности и сбитости (компактности). Для мясного типа свиней характерны сниженные показатели. Так, поросята опытных групп по сравнению со сверстниками контрольной группы по этим индексам были меньше на 0,5 и 0,5 % (1-я опытная), на 1,9 и 0,3 % (2-я опытная), на 1,7 и 0,9 % (3-я опытная) и на 1,6 и 0,9 % (4-я опытная). Относительная длина (индекс растянутости) поросят опытных групп также была меньше, чем у сверстников контрольной группы, на 0,03 % (1-я опытная), на 1,5 % (2-я опытная), на 0,8 % (3-я опытная) и на 0,6 % (4-я опытная), но в целом разница была несущественной. Также мясной тип свиней характеризуется неглубокой грудью, и по грудному индексу разница между поросятами контрольной и опытных групп составила в сторону снижения 0,02 и 1,2 % (2-я и 1-я опытные) и в сторону повышения 0,02 и 0,3 % (4-я и 3-я опытные), но также была незначительной. Таким образом, обобщая результаты исследования, можно сделать заключение, что введение поросятам кормовой добавки БакВин способствует их общему развитию и формированию особей мясного типа, улучшая в целом экстерьерную оценку животных.

При подборе оптимальной дозировки и для оценки эффективности применения биологически активной кормовой добавки БакВин мы изучили гематологические и биохимические показатели крови, а также показатели естественной (неспецифической) резистентности организма.

Введение биологически активной кормовой добавки БакВин увеличивает в крови поросят количество эритроцитов (на 3,1-10,6 %) и лейкоцитов (на 0,6-2,4 %), также отмечено повышение гемоглобина (на 1,2-3,5 %) и уменьшение СОЭ (на 3,3-9,2 %). При этом все показатели зафиксированы в пределах физиологической нормы для данного вида животных. В целом снижение СОЭ в сравнении с показателями группы контроля может говорить об отсутствии какого-либо воспалительного процесса, в особенности со стороны желудоч-

но-кишечного тракта, а повышение уровня лейкоцитов может указывать на активацию факторов клеточной защиты, т. е. на улучшение естественной резистентности организма поросят. Также следует отметить, что в результате выпаивания поросятам-отъемышам 1,5 % кормовой добавки БакВин в крови животных достоверно ($p \leq 0,05$) увеличилось количество общего белка (на 7,7 %), альбуминов (на 12,8 %) и АСТ (на 6,1 %), при этом количество мочевины (на 18,7 %) и холестерина (на 11,2 %) снизилось.

В качестве гуморального фактора защиты мы изучили бактерицидную и лизоцимную активность сыворотки крови. По полученным данным можно предположить, что введение с водой биологически активной кормовой добавки БакВин стимулирует адаптивный иммунитет у поросят. Так, уровень бактерицидной и лизоцимной активности в крови поросят опытных групп в сравнении с животными контрольной группы увеличился на 3,6 и 1,6 % (1-я опытная), на 4,6 и 3,2 % (2-я опытная), на 7,1 и 4,6 % (3-я опытная) и на 6,7 и 4,8 % (4-я опытная). При этом введение 1,5 % кормовой добавки БакВин с водой достоверно ($p \leq 0,05$) увеличило рост бактерицидной активности, а также фагоцитарной активности, отвечающей за клеточный фактор защиты. Так, уровень фагоцитарной активности в крови поросят опытных групп в сравнении со сверстниками контрольной группы увеличился на 1,9 % (1-я опытная), на 3,9 % (2-я опытная), на 5,7 % (3-я опытная) и на 4,8 % (4-я опытная).

Заключение. Обобщая полученные результаты, следует отметить, что выпаивание разработанной нами кормовой добавки БакВин, состоящей из полифенолов виноградной выжимки и бактериальной культуры, в дозе 1,5 % в период доращивания достоверно ($p \leq 0,05$) повышает живую массу и сохранность поросят на 13,6 и 6,4 %, а также снижает конверсию корма на 7,3 %. Интенсивный рост молодняка подтверждается биохимическими показателями крови – в третей опытной группе достоверно увеличилось количество общего белка (на 7,7 %) и альбуминов (на 12,8 %), уровень АСТ (на 6,1 %), при этом снизилось количество мочевины (на 18,7 %) и холестерина (на 11,2 %). Кроме того, у поросят отмечено улучшение экстерьерной оценки, результаты которой показали формирование более мясных особей. В целом, применение кормовой добавки БакВин стимулирует адаптивность отъемышей к факторам внешней среды, что подтверждено достоверным ($p \leq 0,05$) ростом уровня бактерицидной (на 7,1 %) и фагоцитарной (на 5,7 %) активности, отвечающей за клеточный фактор защиты, за счет активности лейкоцитов, количество которых также было выше на 1,9 %.

Conclusion. Summarizing the results obtained, it should be noted that drinking at a dose of 1.5 % during the rearing period of the feed additive BakVin, which we developed from the polyphenols of grape pomace and bacterial culture, significantly ($p \leq 0.05$) increases the live weight and survival rate of piglets by 13.6 % and 6.4 %, respectively, and reduces the feed conversion rate by 7.3 %. The intensive growth of young animals is confirmed by biochemical blood parameters – in the third experimental group, the amount of total protein (by 7.7 %) and albumins (by 12.8 %), the level of AST (by 6.1 %), while the amount of urea (by 18.7 %) and cholesterol (by 11.2 %) decreased. In addition, the piglets showed an improvement in their exterior assessment, which resulted in the formation of more meat-producing individuals. In general, the use of the feed additive BakVin stimulates the adaptability of weanlings to environmental factors, which is confirmed by a significant ($p \leq 0.05$) increase in the level of bactericidal (by 7.1 %) and phagocytic (by 5.7 %) activity, which is responsible for the cellular factor of protection, due to the activity of leukocytes, which were also higher by 1.9 %.

Библиографический список

1. Бирюков М. Время перед отъемом поросят и после – важнейшие этапы. Животноводство России. 2024. № 3. С. 22-23.

2. Кощаев А. Г., Попов А. А. Токсикологическая оценка биологически активной кормовой добавки БакВин. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 122. С. 264-268.

3. Макарова Н. В., Игнатова Д. Ф., Еремеева Н. Б. Использование отходов переработки винограда в качестве источника комплекса биологически активных веществ. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 4 (86). С. 207-212.

4. Черноусова И. В. и др. Полифенолы виноградной грозди, качественный и количественный состав, технологический запас. Химия растительного сырья. 2022. № 3. С. 291-300.

5. Бобрышева Т. Н. и др. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения. Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 1. С. 92-107.

6. Попов А. А., Кощаев А. Г. Разработка кормовой добавки из вторичного виноградного сырья для свиноводства. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 120. С. 205-211.

7. Шкатов М. Отказ от кормовых антибиотиков – реализуемая задача. Свиноводство. 2021. № 6. С. 21-22.

8. Fiesel A., Gessner D. K., Most E., Eder K. Effects of dietary polyphenol-rich plant products from grape or hop on proinflammatory gene expression in the intestine, nutrient digestibility and faecal microbiota of weaned pigs. BMC Veterinary Research. 2014. V. 10. Art. 196.

9. Galib A. M. Al-Kaisse Khalel Eman K. The potency of chamomile flowers (Matericaria chamomilla L.) as feed supplements (growth promoters) on productive performance and hematological parameters constituents of broiler. International Journal of Poultry Science. 2011. V. 10 (9). Pp. 726-729.

10. Mokrani M., Charradi K., Limam F., Aouani E., Urdaci M. C. Grape seed and skin extract, a potential prebiotic with anti-obesity effect through gut microbiota modulation. Gut Pathogens. 2022. V. 14.
11. Mei Huadi et al. Natural plant polyphenols contribute to the ecological and healthy swine production. J. Anim. Sci. Biotechnol. 2024. № 15 (1). Art. 146.
12. Spissu Y., Gil K. A., Dore A. et al. Anti- and Pro-Oxidant Activity of Polyphenols Ex-tracts of Syrah and Chardonnay Grapevine Pomaces on Melanoma Cancer Cells. Antioxidants. 2023. № 12 (1). Art. 80.

References

1. Biryukov M. Time before and after weaning is the most important stage. Animal Husbandry of Russia. 2024. No 3. Pp. 22-23.
2. Koshchaev A. G., Popov A. A. Toxicological assessment of the biologically active feed additive BakVin. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2025. No 122. Pp. 264-268.
3. Makarova N. V., Ignatova D. F., Eremeeva N. B. Use of grape processing waste as a source of a complex of biologically active substances. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020. V. 82. No 4 (86). Pp. 207-212.
4. Chernousova I. V. et al. Grape bunch polyphenols, qualitative and quantitative composition, technological reserve. Chemistry of vegetable raw materials. 2022. No 3. Pp. 291-300.
5. Bobrysheva T. N. et al. Polyphenols as promising biologically active compounds. Nutrition issues. 2023. V. 92. No 1. Pp. 92-107.
6. Popov A. A., Koshchaev A. G. Development of a feed additive from secondary grape raw materials for pig farming. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2025. No 120. Pp. 205-211.
7. Shkatov M. Abandoning Feed Antibiotics is a Realizable Task. Pig Farming. 2021. No 6. Pp. 21-22.
8. Fiesel A., Gessner D. K., Most E., Eder K. Effects of dietary polyphenol-rich plant products from grape or hop on proinflammatory gene expression in the intestine, nutrient digestibility and faecal microbiota of weaned pigs. BMC Veterinary Research. 2014. V. 10. Art. 196.
9. Galib A. M. Al-Kaisse Khalel Eman K. The potency of chamomile flowers (Matericaria chamomilla L.) as feed supplements (growth promoters) on productive performance and hematolog-ical parameters constituents of broiler. International Journal of Poultry Science. 2011. V. 10 (9). Pp. 726-729.
10. Mokrani M., Charradi K., Limam F., Aouani E., Urdaci M. C. Grape seed and skin extract, a potential prebiotic with anti-obesity effect through gut microbiota modulation. Gut Pathogens. 2022. V. 14.
11. Mei Huadi et al. Natural plant polyphenols contribute to the ecological and healthy swine production. J. Anim. Sci. Biotechnol. 2024. № 15 (1). Art. 146.
12. Spissu Y., Gil K. A., Dore A. et al. Anti- and Pro-Oxidant Activity of Polyphenols Ex-tracts of Syrah and Chardonnay Grapevine Pomaces on Melanoma Cancer Cells. Antioxidants. 2023. № 12 (1). Art. 80.

Информация об авторах

Попов Александр Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13).
Кощаев Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), e-mail: kagbio@mail.ru
Ряднов Алексей Анатольевич, доктор биологических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), AuthorID: 425524, e-mail: radnov@mail.ru

Authors' Information

Popov Aleksandr Aleksandrovich, Postgraduate Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina Str., 13).
Koshchaev Andrey Georgievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina Str., 13), e-mail: kagbio@mail.ru
Ryadnov Aleksey Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), AuthorID: 425524, e-mail: radnov@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-52

THE IMPACT ON THE CALVES' HEMATOLOGICAL PARAMETERS, OBTAINED WITH USAGE PRE-IVM PROTOCOLS TO IMPROVE THE MORPHOLOGICAL PARAMETERS AND QUALITY OF THE CATTLE OOCYTES AND EMBRYOS

[1]Shapovalova D. S., [1]Vodyannikova V. V., [2,3]Kuznetsov A. B.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]VESTTRADE LTD
Moscow, Russian Federation
[3]Pirogov Russian National Research Medical University
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 14.06.2026 Submitted 25.07.2026

Abstract

Introduction. Abstract. The standard IVM protocol allows the use of thousands of oocytes from genetically valuable animals. This has become the basis for accelerating breeding progress and spreading high-yielding genotypes in dairy and beef cattle farming. However, the traditional approach to IVM faces a limita-

tion related to the biological unpreparedness of some oocytes, especially those retrieved from small follicles, for immediate meiotic maturation. The solution to this problem was the development of the pre-incubation maturation (Pre-IVM) protocol, which involves a temporary inhibitory blockade of meiosis to create a "window of opportunity" for cytoplasmic maturation. Pre-IVM not only increases the proportion of oocytes in metaphase II, but also improves their competence for development, ultimately leading to an increase in the yield of high-quality blastocysts, improved epigenetic status, and the birth of healthy offspring. **Research object.** Cows-recipients of the Holstein breed of the 2nd and 3rd lactation, with a live weight of 600-650 kg, and calf-offspring during the milk period. **Materials and methods.** The study used cows-recipients of the Holstein breed of the 2nd and 3rd lactation, with a live weight of 600-650 kg. The control group (IVM protocol) included 31 animals, the experimental group 1 (Pre-IVM + IVM protocol) with milrinon included 28 animals, and the experimental group 2 (Pre-IVM + IVM protocol) with roscovitine included 26 animals. All animals were clinically healthy, had good body condition, and had a normal reproductive status, as confirmed by a general clinical examination and a gynecological examination. Calves were divided into three groups: control (standard IVM, n=31) and two experimental (Pre-IVM+IVM with inhibitors, n=28 and n=26). Blood was collected at key points in development: at birth (T_0), at 30 (T_1) and 60 (T_2) days. **Results and conclusions.** The analysis showed that the overall physiological adaptation, including the dynamics of total protein, IgG, and major enzymes, proceeded normally in all groups, with no significant deviations from age norms. However, specific effects have been identified that indicate metabolic programming. The milrinone group had significantly ($p<0.05$) higher antioxidant potential (TAC was 62 % and 27 % higher in T_0 and T_1, respectively) and reduced oxidative stress (MDA was 52 % lower in T_2). The Roskovitin group showed increased metabolic activity: higher levels of glucose and urea in T1, as well as higher levels of AST and ALP in T_2. Our in vivo results indicate that this early metabolic programming of resistance to oxidative stress has a long-term effect and persists into the postnatal stage, resulting in a significant improvement in the antioxidant profile of the offspring.

Keywords: *PRE-IVM protocols, bovine oocytes, biochemical blood parameters of calves, bovine embryos, in vitro maturation of oocytes.*

Citation. Shapovalova D. S., Vodyannikova V. V., Kuznetsov A. B. The impact on the calves' hematological parameters, obtained with usage PRE-IVM protocols to improve the morphological parameters and quality of the cattle oocytes and embryos. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 461-470 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-52.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

Authors' contribution. In this research work, all authors participated in the planning, execution, and analysis of the research results. The submitted version of the article was approved by all authors.

Conflict of interest. The authors have not declared any conflict of interest.

УДК 636.2.082.453.5:612.014.1

ВЛИЯНИЕ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕЛЯТ В МОЛОЧНЫЙ ПЕРИОД, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОТОКОЛОВ PRE-IVM ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И КАЧЕСТВА ООЦИТОВ ЭМБРИОНОВ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

[1]**Шаповалова Д. С.,** *аспирант*
[1]**Водянникова В. В.,** *доктор биологических наук, доцент*
[2, 3] **Кузнецов А. Б.,** *кандидат медицинских наук*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ООО «ВЕСТТРЭЙД ЛТД»
г. Москва, Российская Федерация
[3]РНИМУ им. Н.И. Пирогова
г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Стандартный IVM-протокол позволяет использовать тысячи ооцитов от генетически ценных животных. Это стало основой для ускорения селекционного прогресса и распространения высокопродуктивного генотипа в молочном и мясном скотоводстве. Однако традиционный подход к IVM сталкивается с ограничением, связанным с биологической неготовностью части ооцитов, особенно извлеченных из мелких фолликулов, к немедленному мейотическому созреванию. Решением этой проблемы стала разработка протокола прединкубационного созревания (Pre-IVM), который предусматривает временную ингибиторную блокаду мейоза для создания «окна возможностей» для цитоплазматического дозревания. Pre-IVM не только повышает долю ооцитов в метафазе II, но и улучшает их компетентность к развитию, что в конечном итоге ведет к увеличению выхода качественных бластоцист, улучшению их эпигенетического статуса и рождению здорового потомства. **Объект исследования.** Коровы-реципиенты голштинской породы 2-й и 3-й лактации живой массой

600-650 кг, телята-потомки в молочный период. **Материалы и методы.** В исследовании использованы коровы-реципиенты голштинской породы 2-й и 3-й лактации живой массой 600-650 кг. В контрольной группе (протокол IVM) задействована 31 голова, в опытной группе 1 (протокол Pre-IVM + IVM) с использованием милринона – 28 голов, в опытной группе 2 (протокол Pre-IVM + IVM) с использованием росковитина – 26 голов. Все животные были клинически здоровы, имели хорошую упитанность и нормальный репродуктивный статус, подтвержденный общим клиническим осмотром и гинекологическим исследованием. Телята были разделены на три группы: контроль (стандартный IVM, n = 31) и две опытные (Pre-IVM + IVM с ингибиторами, n = 28 и n = 26). Кровь отбирали в ключевые моменты развития: при рождении (T_0), в 30 (T_1) и 60 (T_2) дней. **Результаты и выводы.** Анализ показал, что общая физиологическая адаптация, включая динамику общего белка, IgG и основных ферментов, протекала нормально во всех группах, без значимых отклонений от возрастных норм. Однако выявлены специфические эффекты, указывающие на метаболическое программирование. Группа милринона отличалась достоверно ($p < 0,05$) более высоким антиоксидантным потенциалом (TAC выше на 62 % и 27 % в T_0 и T_1 соответственно) и сниженным оксидативным стрессом (MDA ниже на 52 % в T_2). Группа росковитина показала повышенную метаболическую активность: более высокие уровни глюкозы и мочевины в T_1, а также активность АСТ и ЩФ в T_2. Наши результаты in vivo свидетельствуют, что такое раннее метаболическое программирование устойчивости к окислительному стрессу имеет долгосрочный характер и сохраняется на постнатальном этапе, что проявляется в значимом улучшении антиоксидантного профиля у полученного потомства.

Ключевые слова: *PRE-IVM протоколы, ооциты КРС, биохимические показатели крови телят, эмбрионы КРС, экстракорпоральное созревание ооцитов.*

Цитирование. Шаповалова Д. С., Водянникова В. В., Кузнецов А. Б. Влияние на гематологические показатели телят в молочный период, полученных с применением протоколов Pre-IVM для улучшения морфологических параметров и качества ооцитов эмбрионов у крупного рогатого скота. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 461-470. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-52.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. В данной научно-исследовательской работе все авторы принимали участие в планировании, выполнении, а также анализе полученных результатов исследований. Представленный вариант статьи одобрен всеми авторами.

Конфликт интересов. О конфликте интересов авторы не заявляли.

Введение. Экстракорпоральное созревание ооцитов (IVM) – ключевой этап получения эмбрионов in vitro (IVP). От его эффективности зависит успех всей технологии. Условия культивирования, моделирующие среду вне организма, оказывают критическое воздействие на ключевые процессы цитоплазматического и ядерного дозревания ооцитов, поэтому их постоянная оптимизация остаётся приоритетом современных исследований [3, 11]. Стандартный IVM-протокол значительно увеличил выход эмбрионов: он позволяет использовать тысячи ооцитов от генетически ценных животных (post mortem или прижизненно методом OPU). Это стало основой для ускорения селекционного прогресса и распространения высокопродуктивного генотипа в молочном и мясном скотоводстве [1, 2, 5]. Однако традиционный подход к IVM сталкивается с ограничением, связанным с биологической неготовностью части ооцитов, особенно извлеченных из мелких фолликулов, к немедленному мейотическому созреванию. Решением этой проблемы стала разработка протокола прединкубационного созревания (Pre-IVM), который предусматривает временную ингибиторную блокаду мейоза для создания «окна возможностей» для цитоплазматического дозревания. В этот период происходит критически важная перестройка: накопление энергетических ресурсов за счет улучшения функции митохондрий, реорганизация цитоскелета и накопление матричных РНК [6-8]. Pre-IVM не только повышает долю ооцитов в метафазе II, но и улучшает их компетентность к развитию, что в конечном итоге ведет к увеличению выхода качественных бластоцист, улучшению их эпигенетического статуса и рождению здорового потомства [1-4, 7, 11]. В целом, применяя данные технологии, необходимо оценивать не только события in vitro, но и долгосрочные эффекты на здоровье потомства. В частности, исследование метаболических процессов в организме телят в постэмбриональном онтогенезе, особенно в критический молочный период, представляет значительный научный и практический интерес. В этот период телёнок адаптируется к внеутробной жизни: формируются иммунитет, пищеварение и обмен веществ. Эти процессы влияют на будущую продуктивность и устойчивость к болезням.

Актуально изучить, как протоколы созревания ооцитов влияют на метаболизм телят, их биохимический профиль и адаптационные возможности в раннем онтогенезе.

Цель исследования – оценить влияние прединкубационного созревания ооцитов (Pre-IVM) с ингибиторами милриноном (PDE3) и росковитином (CDK) на биохимический статус телят-потомков в молочный период.

Объект исследования. Коровы-реципиенты голштинской породы 2-й и 3-й лактации живой массой 600-650 кг.

Материалы и методы. В исследовании использованы коровы-реципиенты голштинской породы 2-й и 3-й лактации живой массой 600-650 кг. В контрольной группе (протокол IVM) задействована 31 голова, в опытной группе 1 (протокол Pre-IVM + IVM) с использованием милринона – 28 голов, в опытной группе 2 (протокол Pre-IVM + IVM) с использованием росковитина – 26 голов. Все животные были клинически здоровы, имели хорошую упитанность и нормальный репродуктивный статус, подтвержденный общим клиническим осмотром и гинекологическим исследованием. Синхронизация половой охоты: протокол с использованием прогестеронового интравагинального устройства CIDR: в первый день одновременно с инъекцией GnRH животным вводится прогестероновое интравагинальное устройство CIDR, на седьмой день – инъекция простагландина, CIDR удаляется. Приход животных в охоту на 9-й день. Отбор реципиентов для переноса: окончательный отбор реципиентов проводился за 24-48 часов до процедуры переноса на основании ультразвукового исследования (УЗИ). Критерием для допуска к переносу являлось наличие на яичнике хорошо развитого, функционально активного желтого тела (ФЖТ) правильной формы и размеров. Перенос эмбрионов осуществлялся стандартным трансцервикальным методом с депозицией в ипсилатеральный рог матки. Экспериментальное исследование было организовано в соответствии со следующей схемой: получение биологического материала и выделение ооцитов – яичники крупного рогатого скота (Bos taurus taurus) получены с местного мясоперерабатывающего предприятия. Транспортировка яичников осуществлялась в стерильном физиологическом растворе в транспортных инкубаторах БИКРС-М (ВЕСТТРЭЙД ЛТД, Россия) при температуре 35 °C. Отбор и подготовка ооцитов. После промывки проводили визуальную морфологическую оценку качества извлеченных ОКК согласно стандартным критериям. Для дальнейших экспериментов отбирали комплексы с компактными, неповрежденными кумулюсными клетками и однородной цитоплазмой. Отобранные комплексы высшего качества были случайным образом разбиты на экспериментальные группы по протоколам созревания. Контрольная группа: стандартный протокол IVM в среде ТСМ-199 с добавками. Опытная группа «Росковитин»: Pre-IVM в течение 18 часов в среде с добавлением росковитина. Три подгруппы с концентрациями препарата 10 мкМ, 20 мкМ и 50 мкМ соответственно. Опытная группа «Милринон»: Pre-IVM в течение 18 часов в среде с добавлением милринона. Три подгруппы с концентрациями препарата 10 мкМ, 20 мкМ и 50 мкМ соответственно. После этапа Pre-IVM все опытные группы подвергались окончательному созреванию (IVM) в течение 26 часов. Протокол отбора проб крови и схема кормления. Отбор проб крови у телят проводился в три заранее установленные временные точки, соответствующие ключевым физиологическим этапам: при рождении (T_0), в середине (T_1) и в конце (T_2) молочного периода. Точка T_0 (рождение, 0-24 часа): пробы крови отбирали до первой выпойки молозива для оценки исходных (фоновых) показателей. Кровь объемом ~5-10 мл забирали путем венепункции яремной вены (V. jugularis) с использованием вакуумных систем и игл 20-22 G. Точка T_1 (середина молочного периода, 30-й день): отбор проб проводили на 30-й день жизни. Точка T_2 (конец молочного периода, 60-й день): отбор проб проводили на 60-й день жизни, что соответствовало моменту активного перевода телят на рацион, содержащий стартерный комбикорм, сено или силос, и сокращения нормы выпойки заменителя цельного молока (ЗЦМ). Во всех точках отбора (T_1 и T_2) процедуру проводили утром до кормления. Кровь забирали из хвостовой (кокцигеальной) вены (V. coccygea) с использованием вакуумных систем с иглами 20-22 G. В течение всего исследования телята содержались индивидуально в клетках. В молочный период использовался ЗЦМ «НЭОМИЛК ЭКСТРА» компании «Мустанг» (РФ). Общая норма выпойки на всю продолжительность молочного периода составляла 27 кг сухого вещества на голову.

Результаты и обсуждение. В таблице 1 представлены результаты оценки стельности на 42-е и 60-е сутки после переноса эмбрионов, полученных с использованием двух различных протоколов созревания ооцитов: стандартного IVM и протокола с предварительным созреванием (Pre-IVM). Уровень стельности в группе Pre-IVM+IVM (62 %) достоверно выше, чем в группе IVM (48 %) ($p<0,05$). Можно заключить, что применение двух-

этапного протокола предварительного созревания ооцитов (Pre-IVM) перед их окончательным дозреванием (IVM) значимо повышает эффективность эмбриопереноса и выход стельностей по сравнению со стандартным методом IVM.

Таблица 1 – Стельность на 42-е и 60-е сутки после переноса эмбрионов
Table 1 – Sensitivity on days 42 and 60 after embryo transfer

Группа / Параметр сравнения Group / Comparison Parameter	Всего голов в группе Total amount in the group	Уровень стельности, гол./% Pregnancy rate, head/%
Сравнение протоколов созревания ооцитов / Comparison of oocyte maturation protocols		
Протокол Pre-IVM + IVM / Pre-IVM + IVM Protocol	26 + 28 = 54	33 головы 62 %* / 33 heads, 62 %*
Протокол IVM / The IVM Protocol	31	15 голов 48 % / 15 heads, 48 %
Сравнение ингибиторов клеточного цикла / Comparison of cell cycle inhibitors		
Ингибитор Milrinone / Milrinone Inhibitor	28	13 голов 47 %[a] / 13 heads, 47 %[a]
Ингибитор Roscovitine / Roscovitine Inhibitor	26	10 голов 38 % / 10 heads, 38 %

Примечание: * ($p < 0,05$) против IVM, [a] ($p < 0,05$) против Roscovitine.
Note: * ($p < 0.05$) vs IVM, and ($p < 0.05$) vs Roscovitine.

Показано влияние различных ингибиторов клеточного цикла (таблица 1), использованных в протоколах созревания ооцитов, на последующую результативность переноса эмбрионов. Сравнивались ингибиторы Росковитин (Roscovitine) и Милринон (Milrinone). Анализ данных выявил четкую закономерность: применение Милринона приводит к достоверно более высоким показателям стельности по сравнению с Росковитином. Милринон показал более высокую эффективность в качестве ингибитора клеточного цикла в системе in vitro созревания ооцитов, так как его использование ассоциировано с повышенной частотой наступления стельности после переноса эмбрионов. Полученные данные позволяют предположить, что более высокая эффективность Milrinone (47 % против 38 %, $p < 0,05$) может быть связана с его действием через ингибирование PDE3 и накопление цАМФ, что создает более благоприятные условия для цитоплазматического дозревания. Roscovitine, несмотря на прямое ингибирование CDK, в нашем исследовании показал более низкие показатели стельности, что требует дальнейшего изучения оптимальных концентраций и временных режимов. В таблице 2 при изучении биохимических показателей в установленных временных точках, соответствующих ключевым физиологическим этапам постнатального онтогенеза – молочного периода, была показана динамика белкового обмена и гуморального иммунитета у телят. Во всех исследуемых группах она соответствовала физиологическим нормам для молочного периода.

Таблица 2 – Динамика биохимических показателей крови телят в молочный период, полученных с применением протоколов Pre-IVM, n = 5
Table 2 – Dynamics of biochemical blood parameters in calves during the milking period, obtained using Pre-IVM protocols, n = 5

Показатели / Indicators	Отбор крови в установленные временные точки, соответствующие физиологическим этапам / Blood sampling at specific time points corresponding to physiological stages	Протокол IVM (Контроль) / IVM Protocol (Control)	Протокол Pre-IVM + IVM / Pre-IVM + IVM Protocol	
			Ингибитор Milrinone I опытная группа / Milrinone Inhibitor I experimental group	Ингибитор Roscovitine II опытная группа / Roscovitine Inhibitor II experimental group
		Всего голов в группе / Total units in the group		
		31	28	26
1	2	3	4	5
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	T_0	48,20 ± 2,25	51,15 ± 2,18	50,95 ± 4,31
	T_1	62,56 ± 3,87	57,98 ± 4,45	64,31 ± 2,91 [c]
	T_2	67,87 ± 2,64	70,12 ± 2,89	69,45 ± 4,71
IgG, г/л / IgG, g/l	T_0	1,80 ± 0,29	2,78 ± 0,81	2,82 ± 0,88
	T_1	17,44 ± 2,98	19,87 ± 1,65	19,65 ± 2,88
	T_2	14,26 ± 1,13	15,05 ± 4,20	16,38 ± 2,09

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/L	T_0	3,56 ± 1,65	3,18 ± 0,99	4,61 ± 1,98
	T_1	6,52 ± 1,54	5,71 ± 1,19	7,44 ± 1,10 [b, c]
	T_2	9,41 ± 2,12	11,63 ± 1,05 [a]	10,28 ± 1,17
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/L	T_0	4,75 ± 1,32	4,12 ± 0,28	5,71 ± 1,40 [c]
	T_1	5,89 ± 1,56	5,76 ± 0,87	6,93 ± 1,61 [b, c]
	T_2	5,31 ± 0,98	5,22 ± 0,94	5,37 ± 1,01
Общий билирубин, мкмоль/л / Total bilirubin, µmol/L	T_0	32,98 ± 2,56	23,15 ± 3,48	37,87 ± 4,63 [c]
	T_1	7,54 ± 1,15	6,41 ± 1,22	6,59 ± 1,18
	T_2	5,21 ± 1,44	5,10 ± 1,38	5,27 ± 1,47
Малоновый диальдегид, мкмоль/л / Malondialdehyde, µmol/L	T_0	8,23 ± 1,11	6,10 ± 0,69	5,31 ± 1,80 [b]
	T_1	5,56 ± 0,43	4,61 ± 0,27 [a]	4,52 ± 0,39 [b]
	T_2	3,78 ± 0,19	1,82 ± 0,20 [a]	2,75 ± 0,11 [b, c]
Общая антиоксидантная активность, Trolox/л / Total antioxidant activity, Trolox/l	T_0	1,84 ± 0,24	2,98 ± 0,21 [a]	2,16 ± 0,15
	T_1	3,83 ± 0,56	4,88 ± 0,23 [a]	5,71 ± 0,96 [b, c]
	T_2	6,67 ± 1,45	6,92 ± 0,48	7,78 ± 0,19 [b, c]
Гаптоглобин, г/л / Haptoglobin, g/l	T_0	0,18 ± 0,15	0,12 ± 0,12	0,18 ± 0,25
	T_1	0,24 ± 0,11	0,21 ± 0,13	0,44 ± 0,33
	T_2	0,36 ± 0,14	0,41 ± 0,14	0,26 ± 0,14
Сывороточный амилоид А – SAA, мг/л / Serum Amyloid A – SAA, mg/L	T_0	0,020 ± 0,001	0,018 ± 0,002	0,021 ± 0,001
	T_1	0,030 ± 0,002	0,029 ± 0,001	0,031 ± 0,010
	T_2	0,124 ± 0,002	0,132 ± 0,008	0,121 ± 0,040
Гамма-глутамилтрансфераза (GGT), Ед/л / Gamma-glutamyltransferase (GGT), U/L	T_0	245,34 ± 11,56	278,89 ± 7,10	286,12 ± 18,23
	T_1	26,47 ± 10,43	37,12 ± 11,87	16,05 ± 15,55
	T_2	18,54 ± 2,76	19,01 ± 2,65	18,32 ± 2,80
Аспартатаминотрансфераза (AST), Ед/л / Aspartate aminotransferase (AST), U/L	T_0	75,18 ± 4,28	64,95 ± 11,15	85,32 ± 7,40
	T_1	65,44 ± 5,67	60,01 ± 12,45	75,12 ± 7,72
	T_2	60,11 ± 4,11	55,87 ± 2,20	70,28 ± 10,05 [c]
Щелочная фосфатаза (ALP), Ед/л / Alkaline phosphatase (ALP), U/L	T_0	356,23 ± 23,78	451,45 ± 23,12	338,10 ± 33,15
	T_1	234,32 ± 21,18	339,10 ± 17,56	332,45 ± 29,40
	T_2	180,25 ± 10,89	168,93 ± 9,24	201,15 ± 20,75 [c]
Лактатдегидрогеназа (LDH) Ед/л / Lactate dehydrogenase (LDH) U/L	T_0	803,23 ± 21,67	765,48 ± 12,15	800,89 ± 19,20
	T_1	455,20 ± 19,87	510,33 ± 5,10	400,11 ± 23,15
	T_2	298,31 ± 30,11	276,76 ± 19,45	302,45 ± 7,50

Примечание: значимые различия ($p < 0,05$) [a] – 1 опытная группа к контролю, [b] – 2 опытная группа к контролю, [c] – 2 опытная группа к 1 опытной группе.
Note: significant differences ($p < 0.05$): [a] – group 1 compared to the control group, [b] – group 2 compared to the control group, [c] – group 2 compared to group 1.

Так, общий белок сыворотки демонстрировал ожидаемую возрастную динамику: низкие исходные значения при рождении (T_0: 48,20-50,95 г/л), существенное повышение к 30-му дню жизни (T_1: 57,98-64,31 г/л), связанное с абсорбцией иммуноглобулинов из молозива и началом активного синтеза собственных белков, и дальнейший рост к 60-му дню (T_2: 67,87-70,12 г/л), отражающий интенсивные процессы роста и развития. Статистический анализ не выявил достоверных различий ($p < 0,05$) между контрольной и опытными группами в каждой временной точке, что свидетельствует об отсутствии влияния протоколов Pre-IVM с применением ингибиторов Milrinone и Roscovitine на общий белковый обмен телят в постнатальном периоде. Концентрация иммуноглобулина G (IgG) также соответствовала типичному профилю для телят молочного периода. На фоне минимальных исходных уровней (T_0: 1,80-2,82 г/л) к 30-му дню (T_1) регистрировались пиковые значения (17,44-19,87 г/л), указывающие на успешную передачу пассивного иммунитета. К 60-му дню (T_2) наблюдалось ожидаемое физиологическое снижение уровня IgG (14,26-16,38 г/л) вследствие катаболизма материнских антител. Достоверных различий между группами на всех этапах исследования не установлено. Следовательно, использованные методики созревания ооцитов не повлияли на колостральный иммунный статус телят и становление их гуморального иммунитета. У телят, полученных после Pre-IVM с милриноном или росковитином, уровни белка и IgG не отличались от контрольных. Все исследованные группы характеризовались сходной, физиологически адекватной динамикой общего белка и IgG, что свидетельствует о нормальном протекании процессов постнатальной адаптации, роста и формирования иммунной защиты у телят независимо от примененного метода созревания ооцитов. Уровень мочевины в сыворотке крови отражал физиологическую перестройку обмена веществ в молочный период. Во всех группах наблюдалась характерная возрастная динамика: низкие значения при рождении, связанные с переходом на смешанное питание и развитием рубцового пищеварения. Однако выявлены значимые различия: в группе Milrinone в T_2 уровень мочевины был достоверно выше ($p < 0,05$), чем в контроле, что может указывать на повышенную активность процессов протеолиза или особенности азотистого обмена. В группе Roscovitine в T_1 также зафиксировано значимое повышение относительно контроля, а в T_1 эта группа отличалась и от группы Milrinone.

Глюкоза как основной показатель энергетического обмена оставалась в пределах физиологической нормы (4,12-6,93 ммоль/л) на всех этапах, свидетельствуя об отсутствии критических нарушений углеводного метаболизма. Тем не менее в группе Roscovitine в периоды T_0 и T_1 концентрация глюкозы была статистически значимо выше ($p < 0,05$), чем в группе Milrinone, а в T_1 также выше, чем в контроле. Это может отражать более высокий уровень метаболической активности или особенности регуляции углеводного обмена у телят данной группы. Динамика ключевого маркера перекисного окисления липидов – малонового диальдегида (MDA) имела выраженную положительную тенденцию к снижению от T_0 к T_2 во всех группах, что соответствует нормальному снижению оксидативного стресса по мере адаптации новорожденного. Однако в опытных группах этот процесс был более интенсивным. В группах Milrinone и Roscovitine в T_1 и T_2, а также в группе Roscovitine в T_0 уровень MDA был достоверно ниже ($p < 0,05$), чем в контроле. Наиболее выраженный антиоксидантный эффект, судя по минимальным значениям MDA, наблюдался в группе Milrinone в T_2. При этом в T_2 группа Roscovitine также значимо отличалась от группы Milrinone более высоким уровнем MDA. Противоположную динамику показала общая антиоксидантная активность (TAC), увеличиваясь к концу исследования. В группе Milrinone достоверное повышение TAC относительно контроля отмечалось на ранних этапах (T_0, T_1), в то время как в группе Roscovitine значимый прирост активности антиоксидантной системы зафиксирован в более поздние сроки (T_1, T_2). В периоды T_1 и T_2 группа Roscovitine также демонстрировала более высокие значения TAC по сравнению с группой Milrinone. MDA и TAC различались между группами: милринон снижал окислительный стресс раньше, росковитин – позже. Вероятно, ингибиторы действуют через разные механизмы. Достоверные изменения в про- и антиоксидантных процессах подтверждаются эффектами и механизмами, описанными в работах Richani et al. (2014) [8], Sugimura et al. (2018) [12], Roland L. et al. (2014) [9], Silva L. R. et al. (2022) [10]. Milrinone, являясь селективным ингибитором фосфодиэстеразы 3-го типа (PDE3), опосредует свои эффекты преимущественно через повышение внутриклеточного уровня циклического аденозинмонофосфата (цАМФ). Это запускает каскад реакций, которые напрямую и косвенно модулируют оксидативный статус. По-

вышенный уровень цАМФ в ооците во время Pre-IVM активирует протеинкиназу А (PKA), которая в свою очередь усиливает экспрессию генов, кодирующих ключевые ферменты для синтеза глутатиона – главного клеточного антиоксиданта. Исследования на мышах и коровах показывают, что Pre-IVM с цАМФ-модуляторами (включая милринон) увеличивает содержание восстановленного глутатиона (GSH) в ооцитах. В работе Li et al. (2016) [7] показано, что высокий уровень цАМФ в ооцит-кумулюсном комплексе поддерживает метаболическое сотрудничество. Клетки кумулюса передают в ооцит не только питательные вещества (например, цистеин для синтеза GSH), но и готовые антиоксиданты. При исследовании эпигенетического программирования и долгосрочных последствий для эмбриона и плода было показано снижение уровня окислительного повреждения ДНК: ооциты, созревшие с применением милринона, имеют меньше повреждений ДНК, вызванных АФК. Это приводит к формированию эмбрионов с более стабильным геномом. Исследования на бластоцистах показывают, что эмбрионы, полученные из ооцитов после Pre-IVM с цАМФ-модуляторами, имеют изменённый профиль экспрессии генов, связанных с ответом на стресс и детоксикацией (например, *SOD1*, *GPX4*). Это создает основу для повышенной устойчивости к оксидативному стрессу на протяжении всего внутриутробного развития.

Наши результаты согласуются с данными [7, 8] о коррекции антиоксидантного дисбаланса при использовании Pre-IVM с цАМФ-модуляторами на моделях с дополнительным оксидативным стрессом. [7, 8].

Активность печеночно-специфичного фермента гамма-глутамилтрансферазы (GGT) была резко повышена при рождении (T_0: 245,34-286,12 Ед/л) вследствие абсорбции фермента из молозива, а затем снижалась до референсных значений для молодняка без существенных межгрупповых различий. Активность аспартатаминотрансферазы (AST) и лактатдегидрогеназы (LDH), являющихся неспецифическими маркерами клеточного повреждения, находилась в пределах ожидаемых для растущих телят значений, демонстрируя тенденцию к снижению к T_2. Значимых отличий от контроля не выявлено, за исключением более высокой активности AST в T_2 в группе Roscovitine по сравнению с группой Milrinone. Уровень щелочной фосфатазы (ALP), высокая активность которой у молодняка связана с интенсивным ростом костной ткани, закономерно снижался с возрастом. В группе Roscovitine в T_2 активность ALP была достоверно выше, чем в группе Milrinone. Концентрации белков острой фазы воспаления – гаптоглобина и сывороточного амилоида А (SAA) – оставались на низком, базовом уровне во всех точках исследования, не демонстрируя значимого повышения и межгрупповых различий. Отсутствие клинически значимых воспалительных процессов у телят во время проведения эксперимента подтверждает их общее благополучие. Уровень общего билирубина характеризовался физиологической неонатальной гипербилирубинемией в T_0 с последующей быстрой нормализацией. В группе Roscovitine в T_0 зафиксировано статистически значимое повышение уровня билирубина по сравнению с группой Milrinone.

Заключение. Показано, что применение Pre-IVM с росковитином (20 мкМ) или милриноном (50 мкМ) повышает цитоплазматическую зрелость ооцитов КРС и улучшает показатели эмбрионального развития при IVF и клонировании. Выявлено, что протоколы Pre-IVM с милриноном и росковитином не нарушают базовые физиологические процессы у телят, что подтверждает безопасность технологий для постнатального развития. Отмечено, что динамика большинства исследованных показателей у телят всех трёх групп соответствовала типичному физиологическому профилю для молочного периода. В частности, применение ингибиторов милринона и росковитина в протоколе Pre-IVM + IVM не привело к значимым изменениям в показателях белкового и иммунного статуса у полученного потомства по сравнению с контролем. Показатели общего белка и IgG у всех телят были сходными и соответствовали физиологической норме. Выявлено, что протокол Pre-IVM с ингибитором фосфодиэстеразы 3-го типа (милриноном) оказывает выраженное положительное влияние на антиоксидантный статус организма телят в раннем постнатальном онтогенезе. По сравнению с контролем в данной группе наблюдалось достоверное ($p < 0,05$) повышение общей антиоксидантной активности (TAC) на 62 % на 1-е сутки (T_0) и на 27 % на 30-й день (T_1), а также наиболее значимое снижение уровня маркера оксидативного стресса – малонового диальдегида (MDA) – на 52 % к 60-му дню жизни (T_2). Установлено, что применение протокола Pre-IVM с ингибитором циклинзависимых киназ (росковитином) приводит к специфическим изменениям в метаболическом профиле телят. Для этой группы были характерны достоверно ($p < 0,05$) более высокие уровни глюкозы (на 18 %) и мочевины (на 14 %) в середине молочного периода (30-й день) по сравнению с контролем. Это

указывает на иную динамику энергетического и белкового обмена, возможно, связанную с усиленной метаболической активностью, при сохранении показателей в пределах физиологической нормы. Определены статистически значимые различия в воздействии двух изучаемых ингибиторов на организм потомства. Группа милринона демонстрировала более выраженный ранний антиоксидантный эффект, тогда как группа росковитина характеризовалась более активным углеводно-белковым метаболизмом в фазе активного роста. К концу периода наблюдения (60-й день) в группе росковитина также регистрировалась достоверно ($p < 0,05$) более высокая активность АСТ и ЩФ по сравнению с группой милринона, что подтверждает гипотезу о различных механизмах метаболического программирования, опосредованных через разные молекулярные мишени в ооците. Полученные достоверные изменения в про- и антиоксидантном статусе телят, рождённых после применения протокола Pre-IVM с милриноном, полностью согласуются с известными литературными данными о механизмах действия этого ингибитора. Вероятно, милринон повышает цАМФ в ооците, что (как показано ранее) активирует синтез глутатиона и его транспорт из клеток кумулюса. Это приводит к формированию эмбрионов с повышенной экспрессией генов антиоксидантной защиты и сниженным уровнем окислительного повреждения ДНК. Наши результаты in vivo свидетельствуют, что такое раннее метаболическое программирование устойчивости к окислительному стрессу имеет долгосрочный характер и сохраняется на постнатальном этапе, что проявляется в значимом улучшении антиоксидантного профиля у полученного потомства.

Conclusion. It has been shown that the use of Pre-IVM with roscovitine (20 μM) or milrinone (50 μM) increases the cytoplasmic maturity of cattle oocytes and improves the indicators of embryonic development in IVF and cloning. It has been revealed that the Pre-IVM protocols with milrinone and roscovitine do not disrupt the basic physiological processes in calves, which confirms the safety of these technologies for postnatal development. It was noted that the dynamics of most of the studied indicators in calves of all three groups corresponded to the typical physiological profile for the milk period. In particular, the use of Milrinone and Roscovitine inhibitors in the Pre-IVM+IVM protocol did not lead to significant changes in the protein and immune status of the resulting offspring compared to the control. The levels of total protein and IgG in all calves were similar and within the physiological range. It was found that the Pre-IVM protocol with the type 3 phosphodiesterase inhibitor (Milrinone) had a significant positive effect on the antioxidant status of calves during early postnatal ontogenesis. Compared to the control group, this group showed a significant ($p <0.05$) increase in total antioxidant activity (TAC) by 62 % on day 1 (T0) and by 27 % on day 30 (T1), as well as a significant decrease in the level of the oxidative stress marker malondialdehyde (MDA) by 52 % by day 60 (T_2). It has been established that the use of the Pre-IVM protocol with a cyclin-dependent kinase inhibitor (Roscovitine) leads to specific changes in the metabolic profile of calves. This group was characterized by significantly ($p <0.05$) higher levels of glucose (by 18 %) and urea (by 14 %) in the middle of the milking period (day 30) compared to the control group. This indicates a different dynamics of energy and protein metabolism, possibly associated with increased metabolic activity, while maintaining the indicators within the physiological norm. Statistically significant differences in the effects of the two studied inhibitors on the offspring were determined. The Milrinone group demonstrated a more pronounced early antioxidant effect, while the Roscovitine group was characterized by more active carbohydrate-protein metabolism during the active growth phase. By the end of the observation period (day 60), the Roscovitine group also showed a significantly higher ($p <0.05$) activity of AST and ALP compared to the Milrinone group, which supports the hypothesis of different mechanisms of metabolic programming mediated through different molecular targets in the oocyte. The obtained reliable changes in the pro- and antioxidant status of calves born after the application of the Pre-IVM protocol with milrinone are fully consistent with the known literature data on the mechanisms of action of this inhibitor. It is likely that milrinone increases cAMP in the oocyte, which (as shown earlier) activates the synthesis of glutathione and its transport from the cumulus cells. This leads to the formation of embryos with increased expression of antioxidant genes and reduced levels of oxidative DNA damage. Our in vivo results indicate that this early metabolic programming of resistance to oxidative stress has a long-term effect and persists into the postnatal stage, resulting in a significant improvement in the antioxidant profile of the offspring.

Библиографический список

1. Зиновьева Н. А., Позябин С. В., Чинаров Р. Ю. Вспомогательные репродуктивные технологии: история становления и роль в развитии генетических технологий в скотоводстве. Сельскохозяйственная биология, 2020, № 55 (2). С. 225-242.
2. Никитин Г. С. Современные подходы при получении и криоконсервации эмбрионов крупного рогатого скота in vitro. Международный вестник ветеринарии. 2021. № 3. С. 192-205.
3. Сингина Г. Н., Шедова Е. Н. Дозревание ооцитов коров в среде FERT-TALP повышает их качество и компетентность к развитию in vitro. Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 6. С. 1206-1213.

4. Сметанина И. Г., Татаринова Л. В., Кривохарченко А. С. Созревание оотов крупного рогатого скота in vitro: модификация методики с применением рекомбинантного фолликулостимулирующего гормона человека. Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 1. https://cyberleninka.ru/article/n/sozrevanie-ootov-krupnogo-rogatogo-skota-invitro-modifikatsiya-metodiki-s-primeneniem-rekombinantnogo-follikulostimuliruyuschego

5. Dieci C., Lodde V., Labreque R., Dufort I., Tessaro I., Sirard M. A., Luciano A. M. Differences in cumulus cell gene expression indicate the benefit of a pre-maturation step to improve in-vitro bovine embryo production. Mol Hum Reprod. 2016. No 22 (12). Pp. 882-897.

6. Gilchrist R. B., Luciano A. M., Richani D., Zeng H. T., Wang X., Vos M. D., Sugimura S., Smitz J., Richard F. J., Thompson J. G. Oocyte maturation and quality: role of cyclic nucleotides. Reproduction. 2016. No 152 (5). Pp. 143-157.

7. Li H. J. et al. Extending prematuration with cAMP modulators enhances the cumulus contribution to oocyte antioxidant defence and oocyte quality via gap junctions, Human Reproduction. 2016. V. 31. Issue 4. Pp. 810-821.

8. Richani D. et al. Pre-maturation with cAMP modulators in conjunction with EGF-like peptides during in vitro maturation enhances mouse oocyte developmental competence. Mol Reprod Dev. 2014. No 81 (5). Pp. 422-35.

9. Roland L., Drillich M., Iwersen M. Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. J Vet Diagn Invest. 2014. No 26 (5). Pp. 592-598.

10. Silva L. R. et al. Influence of Elective Cesarean Calving (with and without Dexamethasone Induction) on the Erythrogram and Iron Serum Profiles in Nellore Calves. Animals (Basel). 2022. No 12 (12). Art. 1561.

11. Singina G. N., Sergiev P. V., Lopukhov A. V., Rubtsova M. P., Taradajnic N. P., Ravin N. V., Shedova E. N., Taradajnic T. E., Polejaeva I. A., Dozev A. V., Brem G., Dontsova O. A., Zinovieva N. A. Production of a Cloned Offspring and CRISPR/Cas9 Genome Editing of Embryonic Fibroblasts in Cattle. Biochemistry, biophysics, and molecular biology. 2021. No 496 (1). Pp. 48-51.

12. Sugimura S. et al. Effect of pre-in vitro maturation with cAMP modulators on the acquisition of oocyte developmental competence in cattle. Journal of Reproduction and Development. 2018.

References

1. Zinov`eva N. A., Pozyabin S. V., Chinarov R. Yu. Assisted reproductive technologies: the history of their development and their role in the advancement of genetic technologies in livestock breeding. Agricultural Biology, 2020, No 55 (2). Pp. 225-242.

2. Nikitin G. S. Modern approaches to the production and cryopreservation of bovine embryos in vitro. International Veterinary Bulletin. 2021. No 3. Pp. 192-205.

3. Singina G. N., Shedova E. N. Maturation of cow oocytes in FERT-TALP medium improves their quality and competence for in vitro development. Agricultural Biology. 2019. V. 54. No 6. Pp. 1206-1213.

4. Smetanina I. G., Tatarinova L. V., Krivoxarchenko A. S. In vitro maturation of bovine oocytes: modification of the technique using recombinant human follicle – stimulating hormone. Problems of Biology of Productive Animals. 2019. No 1. https://cyberleninka.ru/article/n/sozrevanie-ootov-krupnogo-rogatogo-skota-invitro-modifikatsiya-metodiki-s-primeneniem-rekombinantnogo-follikulostimuliruyuschego

5. Dieci C., Lodde V., Labreque R., Dufort I., Tessaro I., Sirard M. A., Luciano A. M. Differences in cumulus cell gene expression indicate the benefit of a pre-maturation step to improve in-vitro bovine embryo production. Mol Hum Reprod. 2016. No 22 (12). Pp. 882-897.

6. Gilchrist R. B., Luciano A. M., Richani D., Zeng H. T., Wang X., Vos M. D., Sugimura S., Smitz J., Richard F. J., Thompson J. G. Oocyte maturation and quality: role of cyclic nucleotides. Reproduction. 2016. No 152 (5). Pp. 143-157.

7. Li H. J. et al. Extending prematuration with cAMP modulators enhances the cumulus contribution to oocyte antioxidant defence and oocyte quality via gap junctions, Human Reproduction. 2016. V. 31. Issue 4. Pp. 810-821.

8. Richani D. et al. Pre-maturation with cAMP modulators in conjunction with EGF-like peptides during in vitro maturation enhances mouse oocyte developmental competence. Mol Reprod Dev. 2014. No 81 (5). Pp. 422-35.

9. Roland L., Drillich M., Iwersen M. Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. J Vet Diagn Invest. 2014. No 26 (5). Pp. 592-598.

10. Silva L. R. et al. Influence of Elective Cesarean Calving (with and without Dexamethasone Induction) on the Erythrogram and Iron Serum Profiles in Nellore Calves. Animals (Basel). 2022. No 12 (12). Art. 1561.

11. Singina G. N., Sergiev P. V., Lopukhov A. V., Rubtsova M. P., Taradajnic N. P., Ravin N. V., Shedova E. N., Taradajnic T. E., Polejaeva I. A., Dozev A. V., Brem G., Dontsova O. A., Zinovieva N. A. Production of a Cloned Offspring and CRISPR/Cas9 Genome Editing of Embryonic Fibroblasts in Cattle. Biochemistry, biophysics, and molecular biology. 2021. No 496 (1). Pp. 48-51.

12. Sugimura S. et al. Effect of pre-in vitro maturation with cAMP modulators on the acquisition of oocyte developmental competence in cattle. Journal of Reproduction and Development. 2018.

Информация об авторах

Шаповалова Диана Сергеевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: shdiana1412@gmail.com

Водянникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vodyannikovavolgau@bk.ru

Кузнецов Александр Борисович, кандидат медицинских наук, РНИМУ им. Н. И. Пирогова (Российская Федерация, г. Москва, Б. Пироговская ул., 9а).

Authors' Information

Shapovalova Diana Sergeevna, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: shdiana1412@gmail.com

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vodyannikovavolgau@bk.ru

Kuznetsov Aleksandr Borisovich, Candidate of Medical Sciences, Pirogov Russian National Research Medical University (Russian Federation, Moscow, Bolshaya Pirogovskaya Str., 9a).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-53

THE STUDY OF THE AFFECTED BY ALTERNARIA GRAIN IMPACT ON THE BROILERS PRODUCTION INDICATORS

Medvedeva V. A., Nikolaev S. I., Chehranova S. V., Vodyannikova V. V.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 14.06.2026 Submitted 22.07.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 29.05.2024. No 12 related: "Investigation of the effect of grain affected by alternaria on the production performance of broilers".

Abstract

Introduction. Today, it is important to understand how widespread fungi of the genus Alternaria spp. are. in wheat, and what effect they have. Detailed identification of these fungi and regular monitoring of their levels will make it possible to develop effective measures to reduce their presence and protect animals, as well as reduce the risk of toxins entering food products. The purpose of the research was to investigate the use of adsorbents in feed programs in order to reduce the negative impact of grain affected by Alternaria on the production performance of broiler chickens. **Materials and methods.** The experiment was conducted in 2024 at the Center for Nutrigenomics of Agricultural Animals and Poultry of the Volgograd State Agrarian University together with the Department of "Feeding and Breeding of farm animals" on 200 broiler chickens of the Ross 308 cross. The duration of the experiment was 42 days. Five groups of broiler chickens were formed for the experiment: a control group and four experimental groups of 40 heads each. To determine the effect of grain affected by Alternaria on the production performance of broilers, recipes were developed that take into account all phases of poultry growth, on the basis of which experimental batches of compound feeds with varying degrees of Alternaria damage were developed. The control group of chickens was fed mixed feed with wheat without Alternaria, the poultry of experimental groups No. 1, No. 2, No. 3 and No. 4 were given compound feed, with the replacement of normal wheat in the basic formulation with wheat infected with Alternaria with varying degrees of damage: up to 5 %, 10 %, 25 % and 50 % of damage Alternaria, respectively. **Results and conclusions.** According to research results and literature data, various metabolites of Alternaria reduce the productivity of broiler chickens by up to 10 %. In our experiments, on day 42 of broiler chicken rearing, different concentrations of Alternaria metabolites contributed to a decrease in productivity in the following order when wheat was introduced with a lesion of up to 5 % by 59.67 g (2.03 %), with a lesion of 10 % by 35.84 g (1.22 %), with a lesion of 25 % by 125.36 g, with a lesion of 50 % – by 84.75 g (2.88 %). An increase in productivity was detected in the experimental groups, where wheat grain infected with Alternaria was fed as part of compound feeds, up to the 21st day of cultivation. Based on the results of morphological studies and analysis of pathological changes in the internal organs of broiler chickens due to feeding grain affected by Alternaria, it can be concluded that the changes characterizing the effect of mycotoxins were already manifested when normal wheat was replaced in the basic formulation with wheat infected with Alternaria, up to 10 % of the lesion. And with an increase in the dose of the affected wheat, the changes only intensified and affected other organs (small intestine, spleen).

Keywords: *broiler chickens, feeding of broiler chickens, Alternaria, live weight of broiler chickens, mycotoxins.*

Citation. Medvedeva V. A., Nikolaev S. I., Chekhranova S. V., Vodyannikova V. V. The study of the affected by Alternaria grain impact on the broilers production indicators *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 471-478 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-53.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 636.5.033.085+633.11:632.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕРНА, ПОРАЖЕННОГО АЛЬТЕРНАРИЕЙ, НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БРОЙЛЕРОВ

Медведева В. А., *аспирант*
Николаев С. И., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Чехранова С. В., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
Водянникова В. В., *доктор биологических наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование проведено в рамках договора от 29.05.2024 г. № 12 по теме: "Исследование влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели бройлеров".

Актуальность. На сегодняшний день важно понимать, насколько широко распространены грибы рода Alternaria spp. в пшенице и какое влияние они оказывают. Детальная идентификация этих грибов и регулярный мониторинг их уровня позволят разработать эффективные меры по со-

кращению их присутствия и защите животных, а также снизить риск попадания токсинов в пищевую продукцию. Цель исследований: оценить использование адсорбентов в кормовых программах с целью снижения негативного влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели цыплят-бройлеров. **Материалы и методы.** Эксперимент проведен в 2024 г. в Центре нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы Волгоградского ГАУ совместно с кафедрой «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» на 200 цыплятах-бройлерах кросса «Росс 308». Продолжительность опыта составила 42 дня. Для опыта сформированы пять групп цыплят-бройлеров: контрольная и четыре опытных группы по 40 голов в каждой. Для определения влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели бройлеров были разработаны рецепты, учитывающие все фазы роста птицы, на основании которых выработаны опытные партии комбикормов с разной степенью поражения пшеницы альтернарией. Контрольной группе цыплят скармливали комбикорма с пшеницей без поражения альтернарией, птице опытных групп № 1, № 2, № 3 и № 4 давали комбикорм, с заменой в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией с различной степенью поражения: до 5 %, 10 %, 25 % и 50 % соответственно. **Результаты и выводы.** Согласно результатам исследований и литературным данным, различные метаболиты альтернарии снижают продуктивность цыплят-бройлеров до 10 %. В наших экспериментах на 42-й день выращивания цыплят-бройлеров различные концентрации метаболитов альтернарии способствовали снижению продуктивности в следующем порядке при введении пшеницы с поражением до 5 % – на 59,67 г (2,03 %), с поражением 10 % – на 35,84 г (1,22 %), с поражением 25 % – на 125,36 г, с поражением 50 % – на 84,75 г (2,88 %). Было выявлено повышение продуктивности в опытных группах, где скармливали в составе комбикормов зараженное альтернарией зерно пшеницы, до 21-го дня выращивания. По результатам морфологических исследований и анализа патологических изменений во внутренних органах цыплят-бройлеров вследствие скармливания зерна, пораженного альтернарией, можно сделать вывод, что изменения, характеризующие действие микотоксинов проявлялись уже при замене в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией до 10 %. С увеличением дозы введения пораженной пшеницы изменения усиливались и затрагивали другие органы (тонкий кишечник, селезенка).

Ключевые слова: *цыплята-бройлеры, кормление цыплят-бройлеров, альтернария, живая масса цыплят-бройлеров, микотоксины.*

Цитирование. Медведева В. А., Николаев С. И., Чехранова С. В., Водянникова В. В. Исследование влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели бройлеров. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 471-478. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-53.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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 все большую актуальность приобретает проблема обеспечения безопасности кормов и кормового сырья. Корма растительного происхождения наиболее часто поражаются микроскопическими грибами, продуцирующими при определённых условиях высокотоксичные метаболиты – микотоксины. Эти природные экотоксиканты неблагоприятно влияют на здоровье животных и птиц, снижают их продуктивность и резистентность, повышают восприимчивость к инфекционным заболеваниям. Кроме того, при микотоксикозах отмечаются микроэкологические нарушения кишечного биоценоза [5].

Кукуруза и пшеница являются основными источниками энергии в ежедневном рационе сельскохозяйственных животных, а пшеница считается третьим по объему производства кормом в мире [7].

В последние десять лет ученые активно изучают грибы рода *Alternaria*, которые стали основной причиной заражения зерна пшеницы [9].

Современная наука располагает убедительными доказательствами того, что грибы рода Alternaria представляют серьезную токсикологическую опасность. Благодаря возможности активного роста на разных субстратах в широком диапазоне температур и влажности они занимают обширную экологическую нишу и способны продуцировать вторичные метаболиты нескольких структурных типов с особо опасными формами негативного действия [3].

Современные аналитические методы позволяют из микотоксинов грибов Alternaria выявлять следующие соединения: альтернариол (ALT), альтернариол-метиловый эфир (ALT-me), тентотоксин (TEN) и тенузоновая кислота (TA). В настоящее время справочная нормативная документация РФ не регламентирует содержание данных микотоксинов в кормах и продуктах зернового происхождения. Однако, по данным ряда ученых, ALT и ALT-me проявляют в животном организме генотоксические, мутагенные и канцерогенные свойства, TA – способность к ингибированию синтеза белка в клетках органов и тканей, а

TEN в основном влияет на развитие хлоролпластов в растениях. Это определяет необходимость проведения мониторинговых исследований, ориентированных на выявление в зерновых продуктах микотоксинов грибов Alternaria, что в последующем позволит определить для них ограничения на уровень в зависимости от вида продукта и назначения [1, 4, 11].

Несмотря на очевидные риски, в мировой научной литературе и нормативной базе до сих пор отсутствуют официально установленные предельно допустимые уровни микотоксинов Alternaria в кормах и пищевом сырье. В Российской Федерации на сегодняшний день также отсутствуют официальные гигиенические и ветеринарные нормативы по содержанию микотоксинов Alternaria в кормах, что создает правовой и методологический вакуум при оценке безопасности зерна, пораженного этими грибами [2, 6].

Следовательно, понимание распространенности и воздействия Alternaria spp. в зерне пшеницы имеет первостепенное значение. Благодаря тщательной идентификации и мониторингу этих грибов могут быть разработаны стратегии по уменьшению их присутствия, защите животных и снижению рисков их накопления в продуктах питания [10].

Цель исследований: оценить использование адсорбентов в кормовых программах с целью снижения негативного влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели цыплят-бройлеров.

Материалы и методы. Эксперимент проведен с 07 июня по 19 июля 2024 г. в Центре нутригеномики сельскохозяйственных животных и птицы НИИ фундаментальных и прикладных агробиотехнологий ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ совместно с кафедрой «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных» ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ на 200 цыплятах-бройлерах кросса «Росс 308». Продолжительность опыта составила 42 дня.

Для опыта сформированы пять групп цыплят-бройлеров: контрольная и четыре опытные группы по 40 голов в каждой. Птица содержалась в 5 секциях размером 1,5 м х 1,25 м. Условия содержания для всех подопытных групп были одинаковыми. Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experimental Scheme

Подопытные группы / Experimental groups	Особенности кормления / Feeding characteristics	Процент поражения зерна пшеницы / The percentage of wheat grain damage	Количество голов / Number of poultry
Контрольная / Control	Базовый корм для стандартной программы кормления / Basic feed for a standard feeding program	Пшеница без поражения альтернарией / Wheat without Alternaria damage	40
Опытная № 1 / Experimental № 1	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией / Replacement of normal wheat with alternaria-contaminated wheat in the basic formulation	до 5 % поражения альтернарией / up to 5 % Alternaria damage	40
Опытная № 2 / Experimental №. 2	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией / Replacement of normal wheat with alternaria-contaminated wheat in the basic formulation	10 % поражения альтернарией / 10 % Alternaria damage	40
Опытная № 3 / Experimental № 3	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией / Replacement of normal wheat with alternaria-contaminated wheat in the basic formulation	25 % поражения альтернарией / 25 % Alternaria damage	40
Опытная № 4 / Experimental № 4	Замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией / Replacement of normal wheat with alternaria-contaminated wheat in the basic formulation	50 % поражения альтернарией / 50 % Alternaria damage	40

Для определения влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели бройлеров были разработаны рецепты, учитывающие все фазы роста птицы, на основании которых выработаны опытные партии комбикормов с разной степенью поражения пшеницы альтернарией:

- базовый корм для стандартной программы кормления (пшеница без поражения альтернарией);
- комбикорм с заменой в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (до 5 % поражения);
- комбикорм с заменой в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (10 % поражения);
- комбикорм с заменой в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (25 % поражения);
- комбикорм с заменой в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией (50 % поражения).

Результаты и обсуждение. При формировании групп суточными цыплятами-бройлерами было установлено, что их средняя живая масса не имела существенных различий и колебалась в диапазоне от 40,60 г до 41,03 г, что свидетельствует о правильности распределения птицы по группам. Начиная с 7-дневного возраста отмечались колебания по средней живой массы в группах: на данном этапе минимальный показатель был отмечен в опытной группе № 3 и составил 120,68 г, максимальный – в опытной группе № 4 – 140,05 г, при этом в контрольной группе данный показатель находился на уровне 130,30 г. В 14- и 21-дневном возрасте данная динамика сохранялась (таблица 2).

При этом стоит отметить, что в 7-дневном возрасте отмечалось достоверное снижение живой массы бройлеров в опытных группах № 2 (** – P > 0,99) и опытная № 3 (*** – P > 0,999) и повышение в опытной № 4 (** – P > 0,99). В 14-невном возрасте аналогично наблюдалось снижение живой массы по отношению к контрольной на 5,81 % (* – P > 0,95) в опытной № 2 и на 9,58 % (*** – P > 0,999) в опытной № 3.

Таблица 2 – Динамика живой массы цыплят бройлеров на протяжении опыта и убойный выход, г
Table 2 – Dynamics of live weight of broiler chickens during the experiment and carcass yield, g

Возраст, дней / Age, days	Группы / Groups				
	Контрольная / Control	Опытная № 1 / Experimental № 1	Опытная № 2 / Experimental № 2	Опытная № 3 / Experimental № 3	Опытная № 4 / Experimental № 4
суточные / one day	41,03±0,55	40,88±0,47	40,70±0,47	40,60±0,52	40,83±0,42
7	130,30±1,67	134,68±2,51	1122,10±1,69**	1120,68±1,61***	2140,05±2,51**
14	306,70±4,46	309,15±5,52	1288,88±6,23*	1277,33±6,11***	314,63±6,64
21	802,44±11,79	806,73±13,08	807,73±16,59	778,83±14,56	815,53±15,04
28	1482,62±21,26	1481,03±24,16	1452,18±29,95	1428,05±26,85	1434,85 ±22,08
35	2185,90±34,56	2163,90±43,77	2111,88±52,02	2069,30±56,35	2109,80±38,55
42	2946,53±52,12	2886,86±46,18	2910,69±67,70	2821,17±65,83	2861,78±53,83
Убойный выход, % / Output, %	74,35	74,20	74,24	73,90	73,95

Примечание: (*- P > 0,95; ** - P > 0,99; *** - P > 0,999).
[1] – Достоверное снижение признака относительно контрольной группы цыплят-бройлеров.
[2] – Достоверное повышение признака относительно контрольной группы цыплят-бройлеров.
Note: (*- P > 0.95; ** - P > 0.99; *** - P > 0.999).
1 – Significant decrease in the trait relative to the control group of broiler chickens.
2 – Significant increase in the trait relative to the control group of broiler chickens.

По данным исследований зарубежных ученых Ostry, Sauer et al., Griffin and Chu, представленных Европейским управлением по безопасности пищевых продуктов (EFSA), никаких доказательств токсичности у цыплят не наблюдалось, когда AME, AOH и ALT скармливали в течение 21 дня на уровнях до 24, 39 и 10 мг/кг корма соответственно; а у цыплят, которых кормили AME в рационе в дозах до 100 мг/кг корма в течение четырех недель, не было снижения производительности или смертности [8].

Представленные в зарубежной литературе данные полностью согласуются с полученными результатами настоящего опыта, где цыплята опытной группы № 4, которым скармливали комбикорм с зерном с повышенным заражением альтернарией до 21-дневного возраста, имели наилучшие показатели по живой массе.

С 28-дневного возраста картина несколько меняется. Живая масса цыплят-бройлеров контрольной и опытнойгруппы № 1 находится практически на одном уровне и составляет соответственно 1482,62 г и 1481,03 г, в опытных группах № 2, 3 и 4 данный показатель уже находится несколько ниже и варьирует в диапазоне 1428,05-1452,18 г. Тенденция сохраняется до конца опыта (рисунок 5).

В 42-дневном возрасте цыплята контрольной группы имели среднюю живую массу на уровне 2946,53 г (по рекомендации к кроссу 2998 г) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Разница по живой массе бройлеров в возрасте 42 дней по сравнению с контрольной группой, г

Figure 1 – Difference in live weight of broilers at 42 days of age compared to the control group, g

В опытной группе № 1 данный показатель был ниже на 59,67 г (2,03 %), в опытной № 2 – на 35,84 г (1,22 %), в опытной № 3 – на 125,36 г (4,25 %), в опытной № 4 – на 84,75 г (2,88 %).

Как отмечают Puvača N.; Tanasković S.; Bursić V.; Petrović A.; Merkuri J. и другие зарубежные исследователи, пшеница, зараженная альтернарией, не оказывала существенного влияния на показатели роста цыплят-бройлеров. Данные авторы указывают, что использование 25 % пшеницы в полнорационных кормах для цыплят-бройлеров в первые 14 дней жизни продемонстрировало неблагоприятные эффекты, отражающиеся на увеличении массы тела, без существенного влияния на потребление и утилизацию корма. Что касается окислительного стресса, был сделан вывод, что *Alternaria* spp. вызывает высокий окислительный стресс у цыплят в молодом возрасте, что негативно влияет на продуктивность и общее состояние цыплят-бройлеров [12].

Полученные в ходе проведенного исследования данные находят свое подтверждение и согласуются с материалами зарубежных исследователей.

В настоящее время знания о возможном воздействии токсинов Alternaria на сельскохозяйственных животных и домашних питомцев, а также база данных, описывающая наличие этих загрязняющих веществ в кормах, являются недостаточными для надлежащей оценки риска, связанного с токсинами Alternaria для здоровья животных. Тем не менее, если предположить, что цыплят можно кормить исключительно пшеницей, потребление токсинов Alternaria составит около 120 мкг в день, что соответствует примерно 5 % от рациона. Эта оценка предполагает, что неблагоприятное воздействие корма, содержащего токсины Alternaria, на здоровье цыплят нельзя полностью исключить.

В ходе исследований был проведен анализ внутренних органов 30 голов бройлеров (по шесть голов: три курочки и три петушка от контрольной и 4 опытных групп) 42-дневного возраста с целью определения патологических изменений вследствие скармливания кормов с разным содержанием пшеницы, зараженной альтернарией.

При данном анализе было выявлено, что у цыплят контрольной группы состояние ротовой полости, нёба и языка хорошее, без видимых нарушений. Зоб с незначительным жидким содержимым соломенного цвета, без патологий. Легкие и почки без видимых изменений. Мышечный и железистый желудки пустые, без патологий. Печень, поджелудочная железа и двенадцатиперстная кишка нормальных размеров, без патологий. Печень имела переднюю – гладкую, выпуклую, обращенную вперед и вниз диафрагмальную поверхность и заднюю – с вдавлениями от прилежащих органов, обращенную вверх и назад висцеральную поверхность. Печень вентрально прилегала к грудной кости, к сердцу, легким и дорсокраниально – к железистому желудку, к селезенке, мышечному желудку и дорсокаудально – к двенадцатиперстной кишке. В печени четко выделены правая и левая доли, паренхима упругая, при надавливании не рвется. Желчный пузырь наполнен.

При характеристике органов цыплят из опытной группы № 1 было установлено, что состояние ротовой полости, нёба и языка хорошее, без видимых нарушений. Зоб с незначительным жидким содержимым, без патологий. Легкие и почки без видимых изменений. Мышечный и железистый желудки пустые, имеют разной степени соскабливающийся налет на границе и на слизистой самого железистого желудка. Поджелудочная железа и двенадцатиперстная кишка нормальных размеров, без патологий. Печень незначительно увеличена, неравномерно окрашена, с участками некроза, края ровные, паренхима от плотной до рыхлой, при надавливании рвется. Желчный пузырь наполнен.

У некоторых птиц опытной группы № 2 (замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией, до 10 % поражения) отмечается некроз кончика языка. Зоб, легкие и почки без патологий. Мышечный и железистый желудки пустые, имеющие разной степени, но уже более плотный соскабливающийся налет на переходе и на слизистой самого железистого желудка. Печень незначительно увеличена, особенно правая доля, кровенаполнена, с участками разрыва паренхимы, неравномерно окрашена, края ровные, паренхима более рыхлая, при надавливании рвется. Поджелудочная железа анемична, двенадцатиперстная кишка воспалена, кровенаполнена. Отмечается энтерит (воспаление тонкого отдела кишечника). Желчный пузырь наполнен, упругий.

У цыплят опытной группы № 3 (замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией, до 25 % поражения) был более выражен некроз кончика языка. Налет на границе железистого и мышечного желудка, а также в железистом желудке отчетливо выражен и при соскабливании под ним имеется белая слизь. Печень незначительно увеличена, расширена, кровенаполнена, с участками разрыва паренхимы, неравномерно окрашена, края округлены, паренхима более рыхлая, при надавливании рвется. Поджелудочная железа анемична, двенадцатиперстная кишка воспалена, кровенаполнена. Отмечается энтерит (воспаление тонкого отдела кишечника) Желчный пузырь переполнен, рвется.

У птицы из опытной группы № 4 (замена в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией, до 50 % поражения) все ранее отмеченные изменения и нарушения выражены более ярко и заметно. Более воспален на всем протяжении тонкий отдел кишечника. Отмечались спленииты (воспаление селезенки).

Заключение. Таким образом, представленные данные свидетельствуют о негативном влиянии альтернариатоксинов на продуктивность цыплят-бройлеров.

Согласно результатам исследований и литературным данным, различные метаболиты альтернарии снижают продуктивность цыплят-бройлеров до 10 %. В наших экспериментах на 42 день выращивания цыплят-бройлеров различные концентрации метаболитов альтернарии способствовали снижению продуктивности в следующем порядке: при введении пшеницы с поражением до 5 % (21,2 TEN, 285,68 TA) – на 59,67 г (2,03 %), с поражением 10 % (29,23 TEN, 249,38 TA) – на 35,84 г (1,22 %), с поражением 25 % (40,12 TEN, 188,21 TA) – на 125,36 г (4,25 %), с поражением 50 % (52 TEN, 72 TA) – на 84,75 г (2,88 %).

Было выявлено повышение продуктивности в опытных группах, которым скармливали в составе комбикормов зараженное альтернарией зерно пшеницы до 21-го дня выращивания. Данные результаты требуют дальнейшего изучения. Такую же тенденцию получили в своих работах следующие авторы Puvača N.; Tanasković S.; Bursić V.; Petrović A.; Merkuri J. (2021 г.).

По результатам морфологических исследований и анализа патологических изменений во внутренних органах цыплят-бройлеров вследствие скармливания зерна, пораженного альтернарией, можно сделать вывод, что изменения, характеризующие действие микотоксинов, проявлялись уже при замене в базовой рецептуре нормальной пшеницы на пшеницу, зараженную альтернарией, до 10 % поражения. И с увеличением дозы введения пораженной пшеницы изменения только усиливались и затрагивали другие органы (тонкий кишечник, селезенка).

Conclusion. Thus, the presented data indicate a negative impact of alternariatoxins on the productivity of broiler chickens. According to research results and literature data, various alternaria metabolites reduce the productivity of broiler chickens by up to 10 %. In our experiments, on day 42 of broiler chicken rearing, various concentrations of alternaria metabolites contributed to a decrease in productivity in the next row when wheat was introduced with a lesion of up to 5 % (21.2 TEN, 285.68 TA) by 59.67 g (2.03 %), with a lesion of 10 % (29.23 TEN, 249.38 TA) – by 35.84 g (1.22 %), with a lesion of 25 % (40.12 TEN, 188.21 TA) – by 125.36 g (4.25 %), with a lesion of 50 % (52 TEN, 72 TA) – by 84.75 g (2.88 %).

An increase in productivity was observed in the experimental groups where wheat grain contaminated with Alternaria was fed as part of the compound feed, up to the 21st day of rearing. These results require further study. The same trend was observed in the works of the following authors: Puvača, N.; Tanasković, S.; Bursić, V.; Petrović, A.; Merkuri, J. (2021).

Based on the results of morphological studies and analysis of pathological changes in the internal organs of broiler chickens due to feeding them grain contaminated with Alternaria, it can be concluded that the changes characteristic of the effect of mycotoxins manifested themselves even when normal wheat was replaced in the basic recipe with wheat contaminated with Alternaria, up to 10 % infection. And as the dose of contaminated wheat increased, the changes only intensified and affected other organs (small intestine, spleen).

Библиографический список

1. Дерхо А. О., Середа Т. И. Оценка комбикормов птиц по содержанию микотоксинов грибов рода Alternaria. Фундаментальные и прикладные аспекты ветеринарной нозологии, патологии и клинической ветеринарии: материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей, научных работников, студентов и аспирантов. Курск: Курский государственный аграрный университет им. И. И. Иванова, 2024. С. 107-112.

2. Зиновьев С. В., Фролов Д. И. Альтернариоз пшеницы как проблема комбикормовой промышленности. Агропромышленные технологии Центральной России. 2026. № 1 (39). С. 43-51.

3. Кононенко Г. П., Пирязева Е. А., Буркин А. А. Продуцирование альтернариола у популяций мелкоспоровых видов Alternaria, ассоциированных с зерновыми кормами. Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 628-637.

4. Орина А. С. и др. Контаминация зерна в Западной Сибири грибами Alternaria и их микотоксинами. Вестник защиты растений. 2021. № 104 (3). С. 153-162.

5. Ермолаева О. К. и др. Микофлора кормов в районах Республики Татарстан. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 243. № 3. С. 84-87.

6. Aichinger G. et al. Alternaria toxins – Still emerging? Comprehensive reviews in food science and food safety. 2021. V. 20. № 5. Pp. 4390-4406.

7. Beloshapka A. N. et al. Compositional analysis of whole grains, processed grains, grain co-products, and other carbohydrate sources with applicability to pet animal nutrition. Foods. 2016. V. 5. № 2. Art. 23.

8. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food. EFSA journal. 2011. V. 9. № 10. Art. 2407.

9. Fraeyman S. et al. Emerging Fusarium and Alternaria mycotoxins: Occurrence, toxicity and toxicokinetics. Toxins. 2017. V. 9. No 7. Art. 228.

10. Puvača N. et al. Identification of Alternaria spp. in stored wheat grain and its toxicological effects on broiler chicken nutrition. 2024. V. 173. Pp. 161-167.

11. Lou J. et al. Metabolites from Alternaria fungi and their bioactivities. Molecules. 2013. V. 18. No 5. Pp. 5891-5935.

12. Puvača N. et al. Optical characterization of Alternaria spp. Contaminated wheat grain and its influence in early broilers nutrition on oxidative stress. Sustainability. 2021. V. 13. No 7. Art. 4005.

References

1. Derkho A. O., Sereda T. I. Assessment of poultry feed based on the content of mycotoxins from fungi of the genus Alternaria. Fundamental and applied aspects of veterinary nosology, pathology and clinical veterinary medicine: materials of the All-Russian scientific and practical conference of teachers, researchers, students and postgraduate students. Kursk: Kursk State Agrarian University named after I. I. Ivanov, 2024. Pp. 107-112.

2. Zinoviev S. V., Frolov D. I. Alternaria wheat as a problem for the feed industry. Agro-industrial technologies of Central Russia. 2026. No 1 (39). Pp. 43-51.

3. Kononenko G. P., Piryazeva E. A., Burkin A. A. Production of alternariol in populations of small-spored Alternaria species associated with grain feeds. Agricultural Biology. 2020. Vol. 55. No 1. Pp. 628-637.

4. Orina A. S. et al. Contamination of grain in Western Siberia with Alternaria fungi and their mycotoxins. Plant Protection Bulletin. 2021. No 104 (3). Pp. 153-162.

5. Ermolaeva O. K. et al. Mycoflora of feed in the regions of the Republic of Tatarstan. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2020. V. 243. No 3. Pp. 84-87.

6. Aichinger G. et al. Alternaria toxins – Still emerging? Comprehensive reviews in food science and food safety. 2021. V. 20. No 5. Pp. 4390-4406.

7. Beloshapka A. N. et al. Compositional analysis of whole grains, processed grains, grain co-products, and other carbohydrate sources with applicability to pet animal nutrition. Foods. 2016. V. 5. No 2. Art. 23.

8. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food. EFSA journal. 2011. V. 9. No 10. Art. 2407.

9. Fraeyman S. et al. Emerging Fusarium and Alternaria mycotoxins: Occur-rence, toxicity and toxicokinetics. Toxins. 2017. V. 9. No 7. Art. 228.

10. Puvača N. et al. Identification of Alternaria spp. in stored wheat grain and its toxicological effects on broiler chicken nutrition. 2024. V. 173. Pp. 161-167.

11. Lou J. et al. Metabolites from Alternaria fungi and their bioactivities. Molecules. 2013. V. 18. No 5. Pp. 5891-5935.

12. Puvača N. et al. Optical characterization of Alternaria spp. Contaminated wheat grain and its influence in early broilers nutrition on oxidative stress. Sustainability. 2021. V. 13. No 7. Art. 4005.

Информация об авторах

Медведева Вероника Анатольевна, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26).

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Водянникова Вера Владимировна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Authors' Information

Medvedeva Veronika Anatolyevna, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26)

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-54

THE INFLUENCE OF THE STAINLESS STEEL TYPE USED IN THE HEAT EXCHANGER ON THE INDUCTION MILK HEATERS ENERGY EFFICIENCY

Bagaev A. A., Bobrovsky S. O.

Altai State Agrarian University
Barnaul, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sergej.bobrovskij.95@mail.ru

Received 10.03.2026 Submitted 21.05.2026

Abstract

Introduction. Thermal pasteurization is the most effective way to disinfect milk. For traditional energy-intensive milk pasteurization processes, it does not matter which type of stainless steel is used to make the heat exchanger. To reduce energy costs, it is promising to use induction heating of heat exchange elements with high-frequency currents. Stainless steels can be austenitic or ferritic, with different magnetic properties, which affects the efficiency of the heating process, but there are no well-founded recommendations for using a specific type of stainless alloy. The resolution of the contradiction between the desire to reduce energy consumption during the pasteurization process using high-frequency induction heaters and the lack of scientifically based recommendations for using a specific type of stainless alloy is an urgent scientific and technical problem.**The aim of the study** was to compare the influence of the magnetic properties of austenitic and ferritic stainless steels of the heat exchanger on the energy efficiency of high-frequency induction units during the heating of milk during the pasteurization process. The research methods used were the basic principles of the theory of induction heating by high-frequency currents and energy analysis.**The scientific hypothesisis** based on the assumption that the magnetic properties of food-grade stainless steels affect the efficiency of the induction heating process of milk by high-frequency currents. **Results and conclusions.** For an induction heat exchanger made of austenitic steels, the efficiency of high-frequency induction heating is about 83 %, while for ferritic steels, it is about 13 %. In the first case, the required power of a high-frequency generator for heating is about 40 kW, while in the second case, it is 286 kW, with a milk flow rate of 500 kg/h and a temperature range of 18 to 80 °C. This is due to the different depths of high-frequency electromagnetic field penetration into the surface of austenitic and ferritic stainless steels. It is advisable to use austenitic steels as the material of the heat exchange element. Increasing the efficiency is possible by reducing the magnetic scattering fluxes and eliminating the proximity effect.

Keywords: *heating of milk, induction heaters, high-frequency currents, steel grades, heat exchangers, and energy efficiency of heaters.*

Citation. Bagaev A. A., Bobrovsky S. O. The influence of the stainless steel type used in the heat exchanger on the induction milk heaters energy efficiency. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 479-490 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-54.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. A. A. Bagaev developed the concept and proposed the research methodology, formulated the scientific and technical problem, the goal, the conclusions, and the prospects of the research, analyzed the analytical data, provided scientific guidance, developed the methodology for calculating the heater, performed the calculations, and wrote and edited the text of the article before submitting it to the editorial office. S. O. Bobrovsky participated in the preparation of a review of literature sources on the research problem, performed a number of calculations, participated in the design and editing of the graphical part of the article, edited the text of the article before submitting it to the editorial office, and performed transliteration.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 637.133.3: 621.365

ВЛИЯНИЕ МАРКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ТЕПЛООБМЕННИКА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ МОЛОКА

Багаев А. А., *доктор технических наук, профессор*
Бобровский С. О., *старший преподаватель*

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»
г. Барнаул, Российская Федерация

Актуальность. Термическая пастеризация является наиболее эффективным способом обеззараживания молока. Для традиционных энергозатратных процессов пастеризации молока не имеет принципиального значения, какая марка нержавеющих сталей применена для изготовления

теплообменника. Для снижения энергозатрат перспективным является индукционный нагрев теплообменных элементов токами высокой частоты. Нержавеющие стали могут быть аустенитными и ферритными с различными магнитными свойствами, что оказывает влияние на КПД процесса нагрева, однако обоснованные рекомендации по использованию того или иного типа нержавеющего сплава отсутствуют. Разрешение противоречия между стремлением к сокращению затрат энергии на нагрев молока в процессе пастеризации с использованием индукционных нагревателей высокой частоты и отсутствием научно обоснованных рекомендаций по использованию конкретного типа нержавеющего сплава представляет собой актуальную научно-техническую проблему. **Целью исследования** стала сравнительная оценка влияния магнитных свойств аустенитных и ферритных нержавеющих сталей теплообменника на энергетическую эффективность высокочастотных индукционных установок при нагреве молока в процессе пастеризации. **В качестве методов исследования** использованы основные положения теории индукционного нагрева токами высокой частоты, энергетический анализ. **Научная гипотеза** сводится к предположению о влиянии магнитных свойств пищевых нержавеющих сталей на КПД индукционного процесса нагрева молока токами высокой частоты. **Результаты и выводы.** Для теплообменника из аустенитных сталей КПД индукционного нагрева токами высокой частоты составляет порядка 83 %, для ферритных – около 13 %, в первом случае требуемая мощность ТВЧ-генератора для нагрева составляет порядка 40 кВт, во втором – 286 кВт при расходе молока 500 кг/ч и его нагреве от 18 до 80 °С. Причиной является различная глубина проникновения электромагнитного поля высокой частоты в поверхность аустенитных и ферритных нержавеющих сталей. В качестве материала теплообменного элемента целесообразно применять аустенитные стали. Увеличение КПД возможно путем уменьшения магнитных потоков рассеяния и устранения эффекта близости.

Ключевые слова: *нагрев молока, индукционные нагреватели, токи высокой частоты, марки стали, теплообменники, энергоэффективность нагревателей.*

Цитирование. Багаев А. А., Бобровский С. О. Влияние марки нержавеющих сталей теплообменника на энергоэффективность индукционных нагревателей молока. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 479-490. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-54.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. А. А. Багаев разработал концепцию и предложил методику исследования, сформулировал научно-техническую проблему, цель, выводы и перспективы исследования, провел анализ аналитических данных, осуществлял научное руководство, разработал методику расчета нагревателя, выполнил расчеты, написал и редактировал текст статьи до ее подачи в редакцию. С. О. Бобровский принял участие в подготовке обзора литературных источников по исследуемой проблеме, провел ряд расчетов, участвовал в оформлении и редактировании графической части статьи, редактировал текст статьи до ее подачи в редакцию, осуществил транслитерацию.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Согласно техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции», допустимый уровень количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в сыром молоке не должен превышать 10^5 КОЕ/см^3, где КОЕ – колониеобразующая единица, величина, показывающая количество микробных клеток (бактерий, грибов и т. д.) или неклеточных форм жизни (вирусов и вирионов) в образце, которые являются жизнеспособными и/или способными размножаться путем деления.

Свидетельством достаточной обеззараженности молока является уничтожение патогенных микроорганизмов: кишечной палочки, возбудителей брюшного типа и туберкулеза, а также и ферментых систем, одной из которых является фосфатаза. Любой процесс, который деактивирует все формы жизни, называется пастеризацией (стерилизацией).

Методы пастеризации (стерилизации) подразделяются на химические, нетепловые и термические [1].

Известны нетепловые методы пастеризации и стерилизации молока: обработка ультразвуком [2], инфракрасным и ультрафиолетовым облучением [3, 4], энергией солнца [5, 6], СВЧ-токами [7-9], гидродинамические и др. [10, 11]. Однако перечисленные технологии изучены в недостаточной степени, как правило, являются процессами непроточного типа, характеризуются малой производительностью.

Наиболее эффективной, проверенной и широко применяемой по-прежнему, остается тепловая обработка.

Температурно-временные режимы основных видов тепловой обработки молока в современном молочном производстве известны.

В условиях современного рынка оборудования для первичной обработки молока широкое распространение получили пастеризаторы, в состав которых входят теплообменники пластинчатого или кожухотрубного типа с первичным теплоносителем в виде горячей воды или водяного пара [12, 13].

Затраты энергии на нагрев первичного теплоносителя в традиционных пастеризационных устройствах велики, и задача заключается в их уменьшении при сохранении качества готового продукта.

Основным энергопотребляющим этапом в процессе пастеризации является нагрев молока с использованием теплообменников того или иного типа; к нержавеющим сталям, из которых они изготавливаются, предъявляется комплекс требований, а именно: коррозионная стойкость, механическая прочность, температурная стабильность, долговечность, гигиеничность, безопасность продукта, нетоксичность, возможность контактировать с кислыми и щелочными средами, такими как молочные продукты, а также моющие средства.

Эти требования регламентируются российскими и международными стандартами качества.

Основным документом, регламентирующим химический состав нержавеющих сталей в России, является ГОСТ 5632-2014 «Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки».

В США и Европе широко распространена классификация AISI, разработанная Американским институтом железа и стали.

В пищевой промышленности к использованию в качестве теплообменников рекомендованы нержавеющие стали AISI 304, 316, 321, 430, отличающиеся содержанием хрома, никеля, молибдена, титана, железа. Содержание последнего элемента делает нержавеющую сталь или аустенитной (немагнитной) или ферритной (магнитной); российские аналоги которых представлены в таблице 1.

Для традиционных энергоемких процессов пастеризации не имеет принципиального значения, какую марку нержавеющего сплава из перечня рекомендованных можно использовать в качестве материала теплообменника. Иная картина складывается при использовании нержавеющих сплавов в индукционных нагревательных установках высокой частоты.

Таблица 1 – Российские аналоги по ГОСТ 5632-72 сталей AISI используемые в пищевой промышленности
Table 1 – Russian analogues according to GOST 5632-72 of AISI steels used in the food industry

Стандарт Американского института стали и сплавов / American Institute of Steel and Alloys Standard	AISI 304	AISI 316	AISI 321	AISI 430
Российские аналоги / Russian analogues	08Х18Н10	08Х17Н13М2	08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т	12Х17
Магнитные свойства / Magnetic properties	Аустенитная / Austenitic	Аустенитная / Austenitic	Аустенитная / Austenitic	Ферритная / Ferritic
Особенности состава / Composition features	Углерод С – не более 0,08 %; хром Cr – 18 %; никеля Ni – 8 %; железо Fe – 69 % / Carbon C – not more than 0.08 %; chromium Cr – 18 %; nickel Ni – 8 %; iron Fe – 69 %	Углерод С – не более 0,08 %; хром Cr– 18 %; никеля Ni– 10-14 %; молибден Mo – 2-3 %, железо Fe – 66-74 % / Carbon C – not more than 0.08 %; chromium Cr – 18 %; nickel Ni – 10-14 %; molybdenum Mo – 2-3 %, iron Fe – 66-74 %	Углерод С – не более 0,08-0,12 %, титан Ti– 0,4-0,8 %; железо Fe – до 65 % / Carbon C – no more than 0.08-0.12 %, titanium Ti – 0.4-0.8 %; iron Fe – up to 65 %	Углерод С – не более 0,12 %; хром Cr – 16-18 %; железо Fe – 80-85 % (что делает материал магнитным) / Carbon C – no more than 0.12 %; chromium Cr – 16-18 %; iron Fe – 80-85 % (which makes the material magnetic)

По сравнению с традиционными методами нагрева молока индукционный нагрев несколько уступает в плане энергоэффективности, т.к. обладает меньшими значениями коэффициента полезного действия (КПД), являющегося фундаментальным показателем энергоэффективности.

Чем выше КПД, тем ниже потери и, соответственно, меньше энергии установка потребляет для создания полезной мощности, затрачиваемой в данном случае на нагрев молока.

Оценка энергоэффективности с использованием КПД регламентируется ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения», а также межгосударственным стандартом ГОСТ IEC 60034-30-1-2016.

Оценка потенциальной возможности применения индукционного нагрева пищевых продуктов с анализом перспектив развития и недостатков предпринята в работах [14-18].

В работе [19] показано, что для индукционных коаксиальных нагревателей промышленной частоты характерны значительные линейные размеры, низкий КПД в силу превышения токов в индукторе над токами в нагреваемой трубе и, видимо, необходимость циклического нагрева первоначально нагретого молока. Перспективным направлением развития техники индукционного нагрева молока в установившемся проточном процессе является применение токов высокой частоты, что способствует уменьшению площади теплоотдающей поверхности с одновременным увеличением коэффициента теплоотдачи и КПД процесса нагрева.

В ряде работ в качестве материала теплообменника при индукционном нагреве используются как ферритные, так и аустенитные сплавы. Например, в [20] рассматривается индукционная ТВЧ (токи высокой частоты) установка частотой 40 кГц мощностью 7,5 кВт с использованием литцендратного провода для нагрева 50 л молока до конечной температуры 65 °С. В качестве емкости для молока используется сталь AISI 304 (аустенитная), а в местах локализации индукционного нагрева токами высокой частоты располагается ферритный сплав AISI 430. Молоку тепловой поток передается через сплав AISI 304 за счет теплопроводности. Устройство относится к классу непроточных и реализует высокотемпературный длительный нагрев в течение 30 мин. Следует также учитывать различные значения теплопроводности сталей: λ=16,2-17 Вт/(м·град) для AISI 304, 316, 321 и λ=(26,1-26,3) Вт/(м·град) для AISI 430.

Несмотря на принадлежность указанных сплавов AISI 304 и AISI 430 к классу нержавеющих сталей и учитывая их отличающиеся на несколько порядков значения относительной магнитной проницаемости, следует предполагать неодинаковый характер поведения указанных сплавов в условиях взаимодействия с электромагнитным полем высокой частоты.

Кроме того, в работе [21] показано, что по сравнению с традиционными способами нагрева молока и способом пастеризации с использованием двухфазного термосифонного нагревателя индукционный нагрев характеризуется меньшими значениями энергетического и эксергетического КПД, составляющими соответственно 86 и 87 %.

Одним из направлений повышения КПД проточных индукционных нагревателей высокой частоты, характеризующихся компактностью, большей технологичностью и простотой, является обоснованный выбор типа нержавеющего сплава, из которого изготавливается теплообменный элемент пастеризационной установки.

Разрешение противоречия между стремлением к сокращению затрат энергии на нагрев молока в процессе пастеризации с использованием индукционных нагревателей высокой частоты и отсутствием научно обоснованных рекомендаций по использованию конкретного типа нержавеющего сплава представляет собой актуальную научно-техническую проблему.

Целью является получение сравнительной оценки влияния магнитных свойств аустенитных и ферритных нержавеющих сталей теплообменника на энергетическую эффективность высокочастотных индукционных установок при нагреве молока в процессе пастеризации.

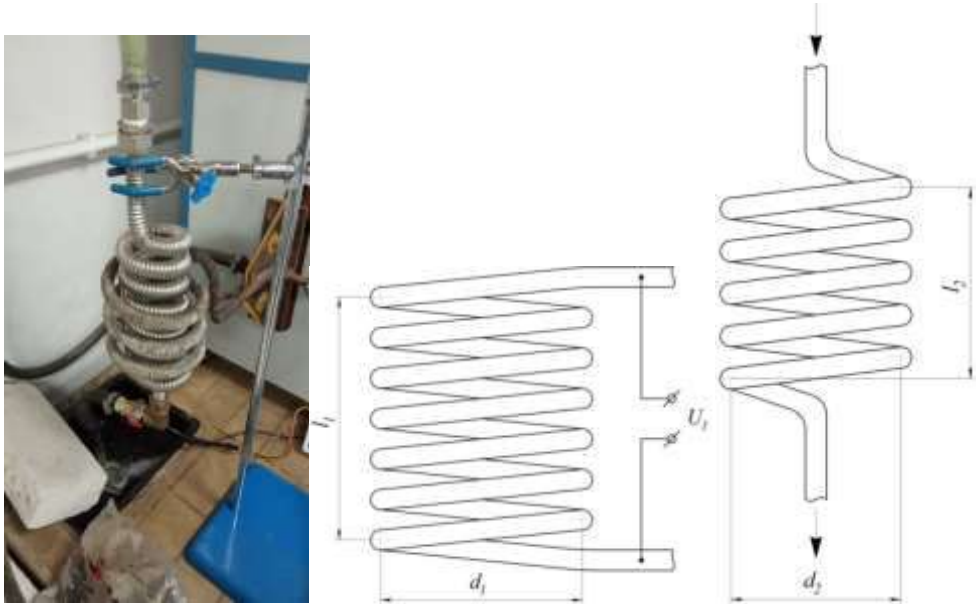
Материалы и методы. Основные положения теории индукционного нагрева токами высокой частоты, энергетический анализ.

Результаты. Расчеты проводятся на примере змеевикового теплообменника из нержавеющей стали как обладающего наилучшими теплообменными характеристиками, что установлено в работе [22] с использованием основных положений гидродинамики, теплообмена и теории подобия, и цилиндрического многовиткового индуктора из медной полой трубки, создающего магнитное поле высокой частоты. Толщина стенки медной трубки индуктора $\delta_{ст1}$ = 0,001 м. Толщина стенки трубки теплообменника из нержавеющей стали $\delta_{ст2}$ = 0,001 м. Индуктор и теплообменник имеют коаксиальную схему взаимного расположения, причем индуктор располагается с внешней стороны теплообменника. Воздушный

зазор между витками индуктора и теплообменником составляет σ = 0,01 м. Индуктор подключается к источнику напряжения U_1 = 50 В и резонансной частотой f = 45 кГц. Змеевиковый теплообменник в дальнейшем рассматривается как загрузка индуктора, имеющая форму цилиндра.

На рисунке 1 показан общий вид индукционного ТВЧ нагревателя, геометрические размеры цилиндрического многовиткового индуктора и змеевикового теплообменника.

Физические параметры сталей AISI 304, AISI 316, AISI 321 и AISI 430 представлены в таблице 2.



а) б) в)

Рисунок 1 – Индукционный нагреватель молока токами высокой частоты (ТВЧ): а) – общий вид нагревательной установки; б) – геометрические параметры цилиндрического многовиткового индуктора; в) – геометрические параметры змеевикового теплообменника, где d_1 – диаметр цилиндрического многовиткового индуктора, d_1=0,1 м; l_1 – длина индуктора, l_1=0,3 м; d_2 – диаметр змеевикового теплообменника, d_2=0,08 м; l_2 – длина теплообменника, l_2=0,225 м

Figure 1 – Induction milk heater with high frequency currents (HFC): a) – general view of the heating system; b) – geometric parameters of a cylindrical multi-turn inductor; c) – geometric parameters of the coil heat exchanger, where d_1 is the diameter of a cylindrical multi-turn inductor, d_1= 0.1 m; l_1 is the inductor length, l_1=0.3 m; d_2 is the diameter of the coil heat exchanger, d_2=0.08 m; $l_2$is the length of heat exchanger, l_2= 0.225 m

Таблица 2 **–** Физические параметры сталей AISI 304, 316, 321 и AISI 430
Table 2 **–** Physical parameters of AISI 304, 316, 321 and AISI 430 steels

	AISI 304	AISI 316	AISI 321	AISI 430
Магнитные свойства / Magnetic properties	Аустенитная / Austenitic	Аустенитная / Austenitic	Аустенитная / Austenitic	Ферритная / Ferritic
Уд.теплоемкость *c*, Дж/(кг·град) / Specific heat capacity c, J/(kg·deg)	500	500	504	460
Уд. эл. Сопротивление ρ э, Ом·м / Specific electrical resistance ρ E, Ω·m	$7{,}2\cdot10^{-7}$	$7{,}4\cdot10^{-7}$	$7{,}\cdot10^{-7}$	$6\cdot10^{-7}$
Относительная магнитная проницаемость, μ / Relative magnetic permeability, μ	1,008	1,005	1,01	600-1100
Плотность ρ, г/см^3 / Density ρ, g/cm^3	7,93	8	7,9	7,75
Теплопроводность λ, Вт/(м·град) / Thermal conductivity λ, W/(m·deg)	16,2	16,2	17	26,1-26,3

В силу того, что для изготовления элементов теплообменного оборудования рекомендованы к использованию аустенитные стали AISI 316, являющиеся улучшенным вариантом сплава AISI 304, AISI321 и их российские аналоги, а также AISI 430 ферритного типа, то в качестве нержавеющей стали для теплообменника в настоящей работе рассматриваются сплавы AISI 304 и AISI 430.

Для энергетической оценки рассматриваемого процесса нагрева и определения КПД в дальнейшем использована упрощенная методика расчета высокочастотных (свыше 10 кГц) индукционных установок (Басов А. М., Быков В. Г., Лаптев А. В., Файн В. Б. Электротехнология. М.: Агропромиздат. 1985. 256 с.). Методика расчета предусматривает реализацию двух этапов: теплового и электрического.

Тепловой расчет. В предположении отсутствия потерь мощность за период нагрева, Вт, складывается из двух составляющих

$$P_2 = P_{\text{зм}} + P_{\text{м}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{зм}}$ – мощность, затрачиваемая на нагрев теплообменника, Вт; $P_{\text{м}}$– мощность на нагрев молока, Вт.

Мощность, затрачиваемая на нагрев теплообменника, Вт:

$$P_{зм}=M_{зм}\, c_{зм}\cdot(T_{кзм}-T_{нзм})=3{,}47 \quad (2)$$

где $M_{\text{зм}}$ – масса змеевикового теплообменника из нержавеющей стали, $M_{зм}$=0,362 кг; $c_{\text{зм}}$ – удельная теплоемкость нержавеющей стали, $c_{зм}$=0,137 (Вт·ч)/(кг·град); $T_{\text{н зм}}$ – начальная температура теплообменника, $T_{\text{н зм}}$=20 °С; $T_{\text{к зм}}$ – конечная температура теплообменника, $T_{\text{к зм}}$=90 °С в установившемся режиме после окончания переходного процесса нагрева.

Тогда мощность, затрачиваемая на нагрев молока, кВт:

$$P_м=G\cdot\, c_м\cdot(T_{к\,м}-T_{н\,м})=34{,}1, \quad (3)$$

где G – расход молока в режиме высокотемпературной кратковременной пастеризации, G= 500 кг/ч = 0,138 кг/с; $T_{\text{н м}}$ – температуре молока на входе $T_{\text{н м}}$=18 °С; $T_{\text{к м}}$ – температуре на выходе, $T_{\text{к м}}$=80 °С; $c_{\text{м}}$ – удельная теплоемкость молока, $c_{\text{м}}$=3,97 кДж/(кг·град)=1,1 (Вт·ч)/(кг·град).

Сравнение результатов расчета по выражениям (2) и (3) можно сделать допущение о равенстве P_2 и $P_{\text{м}}$.

Электрический расчет. Расчет проводят для условного одновиткового индуктора.

Для получения оценки электрического КПД $\eta_{\text{э}}$, коэффициента мощности cosφ, требуемой мощности индуктора P_1 необходимо знание параметров сопротивлений показанной на рисунке 2 электрической эквивалентной схемы замещения индуктора с загрузкой-теплообменником.

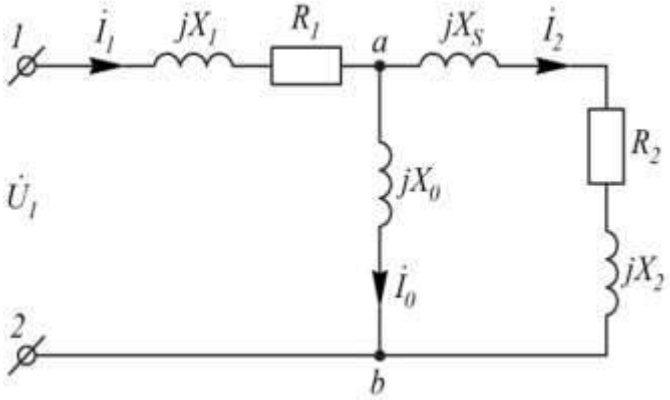


Рисунок 2 – Расчетная электрическая эквивалентная схема замещения индуктора с загрузкой-теплообменником: R_1, $jX_{\text{м1}}$ – активное и индуктивное сопротивления индуктора, Ом; R_2, $jX_{\text{м2}}$ – активное и индуктивное сопротивления теплообменника, Ом; jX_S – индуктивное сопротивление рассеяния, Ом; jX_0 – индуктивное сопротивление обратного замыкания, Ом; $\dot{U}_1$ – комплекс напряжения на индукторе с загрузкой, В; $\dot{I}_1$ – комплекс тока в индукторе, А; $\dot{I}_2$ – комплекс тока в загрузке индуктора, А; $\dot{I}_0$ – комплекс тока в реактивном сопротивлении обратного замыкания, А

Figure 2 – Electrical equivalent circuit of an inductor with a heat exchanger load: R_1, $jX_{\text{м1}}$ – active and inductive resistance of the inductor, Ohm; R_2, $jX_{\text{м2}}$ – active and inductive resistance of the heat exchanger, Ohm; jX_S – leakage inductive reactance, Ohm; jX_0 – reverse-circuit inductive reactance, Ohm; $\dot{U}_1$ – complex voltage on the inductor with loading, V; $\dot{I}_1$ – the complex of current in the inductor, A; $\dot{I}_2$ – current complex in the load of the inductor, A; $\dot{I}_0$ – current complex in the back-circuit reactance, A

Активное и индуктивное сопротивления индуктора, Ом:

$$R_1 = \rho_1 \frac{\pi d_1}{l_1 \delta_{ст}} k_R, \quad (4)$$

$$X_{1м} = \rho_1 \frac{\pi d_1}{l_1 \delta_{ст}} k_X, \quad (5)$$

где ρ_1 – удельное электрическое сопротивление материала трубки индуктора, для меди ρ_1=0,0175·10^{-6}Ом·м; l_1 – длина индуктора, l_1=0,3 м; $\delta_{ст}$ – толщина медной трубки индуктора, $\delta_{ст}$=0,001 м; k_R и k_X – коэффициенты, учитывающие изменение соответствующих сопротивлений и зависящие от толщины стенки трубки индуктора и от так называемой «глубины проникновения» в проводящую среду, на которой плотность тока уменьшается в *e* = 2,71828 раз.

Глубина проникновения, м, определяется известным выражением:

$$\Delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_r}}, \quad (6)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление материала трубки индуктора, Ом·м; f – частота, Гц; μ_r – относительная магнитная проницаемость, для меди μ_r=0,9999.

Для меди на частотеf = 45 кГц глубина проникновения составляет Δ_1 = 31,53·10^{-5}м. Тогда отношение $2\delta_{ст}/\Delta_1$ = 6,3, что позволяет определить коэффициенты k_R = k_X= 3 в соответствии с [29].

Активное и индуктивное сопротивление теплообменника

$$R_2 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot \frac{\pi^3 d_2^2}{l_2} \cdot A, \quad (7)$$

$$X_{2м} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot \frac{\pi^3 d_2^2}{l_2} \cdot B, \quad (8)$$

где А и В – вспомогательные функции, учитывающие распределение тока в теплообменнике, которые могут быть найдены графическим путем или по приближенным формулам, а именно, если $m_2 = \left[(\sqrt{2} r_2)/\Delta_2\right] > 6$, то определяемые функции А =В=$\sqrt{2}/m_2$. В итоге получаем для аустенитных сталей Δ_2=1,95 мм, для ферритных сплавов с μ_r от 600 до 1100, т. е. Δ_2 = 0,058 мм при принятом в настоящем исследовании μ_r = 1000.

Индуктивное сопротивление рассеяния, Ом:

$$X_S = 8 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot \pi^2 \frac{\sigma_{вз\ ср}}{l_{ср}}, \quad (9)$$

где $\sigma_{вз\ ср}$ – площадь сечения воздушного зазора между индуктором и теплообменником известных диаметров, $\sigma_{вз\ ср} = \left(\frac{d_1^2 - d_2^2}{\pi}\right) \pi$ =0,0028 м^2; $l_{ср}$ – средняя длина $l_{ср} = \frac{l_1 + l_2}{2}$=0,26 м.

Индуктивное сопротивление обратного замыкания, Ом

$$X_o = 2 \cdot 10^{-7} \cdot f \cdot \pi^3 \cdot d_1^2 \frac{k_N}{l_1 - k_N \cdot l_2}, \quad (10)$$

где k_N – поправочный коэффициент, учитывающий концевые эффекты короткого индуктора, $k_N = \frac{1}{1 + 0{,}9 \cdot \frac{r_1}{l_1}}$ = 0,87 при радиусе индуктора $r_1 = \frac{d_1}{2}$= 0,05 м и длине индуктора l_1= 0,3 м.

Активное и реактивное сопротивление, Ом, индуктора с загрузкой-теплообменником:

$$R_{1н} = R_1 + k_{пр} R_2, \quad (11)$$

$$X_{1н} = X_{1м} + k_{пр}\left[X_s + X_{2м} + \frac{R_2^2 + (X_S + X_{2м})^2}{X_o}\right], \quad (12)$$

где $k_{пр}$ – коэффициент приведения сопротивлений теплообменника к параметрам индуктора:

$$k_{пр} = \frac{X_0^2}{R_2^2 + (X_0 + X_S + X_{2м})^2}. \quad (13)$$

Полное сопротивление нагруженного индуктора, Ом:

$$Z_{1н} = \sqrt{R_{1н}^2 + X_{1н}^2}. \quad (14)$$

Электрический КПД индуктора

$$\eta_э = \frac{k_{пр} R_2}{R_{1н}}. \quad (15)$$

Коэффициент мощности

$$cos\varphi = \frac{R_{1н}}{Z_{1н}}. \quad (16)$$

Активная мощность индуктора, Вт

$$P_1 = P_2/\eta_э, \quad (17)$$

где $P_2 = P_м$ – мощность, затрачиваемая на нагрев молока, P_2=36 кВт в соответствии с (3).

Число витков индуктора

$$n_в = U_1\sqrt{\frac{cos\varphi}{Z_{1н}P_1}}, \quad (18)$$

где U_1 – действующее значение напряжения на индукторе, U_1 = 50 В.

Действующее значение тока индуктора, А, зависит от числа витков

$$I_1 = U_1/(Z_{1н}n_в^2). \quad (19)$$

Выражение (12) позволяет определить индуктивность $L_{1Н}$, Гн, нагруженного индуктора:

$$L_{1Н} = \frac{X_{1н}}{2\pi f}. \quad (20)$$

Результаты расчетов для аустенитных и ферритных сплавов при требуемой мощности нагрева P_2 = 36 кВт, расходе молока G = 500 кг/ч, начальной температуре $T_н$= 18 °С, конечной температуре $T_к$ = 80 °С на частоте *f* = 45 кГц сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчета параметров схемы замещения и показателей энергоэффективности ТВЧ установок нагрева молока для аустенитных AISI 304 и ферритных AISI 430 сплавов
Table 3 – Results of calculating the parameters of the equivalent circuit and energy efficiency indicators of high-frequency heating systems for milk for austenitic AISI 304 and ferritic AISI 430 alloys

Номер расчетной формулы / Calculation formula number	Параметр / Parameter	Число витков индуктора, $n_в$ / Number of inductor turns, n_b	AISI 304	AISI 430
4	R_1, Ом		$54{,}95\cdot10^{-6}$	$54{,}95\cdot10^{-6}$
5	$X_{1м}$, Ом		$54{,}95\cdot10^{-6}$	$54{,}95\cdot10^{-6}$
7	R_2, Ом		$385\cdot10^{-6}$	$10\cdot10^{-6}$
8	$X_{2м}$, Ом		$385\cdot10^{-6}$	$10\cdot10^{-6}$
9	X_s, Ом		$3787\cdot10^{-6}$	$3787\cdot10^{-6}$
10	X_o, Ом		0,0233	0,0233
11	$R_{1н}$, Ом		$330\cdot10^{-6}$	$62{,}39\cdot10^{-6}$
12	$X_{1н}$, Ом		0,00362	0,00336
20	$L_{1Н}$, мкГн		0,0128	0,0118
14	$Z_{1н}$, Ом		0,00364	0,0033
15	$\eta_э$		0,837	0,12
17	P_1, кВт		40,38	286,44
16	$cos\varphi$		0,091	0,0189
	$\varphi = arccos\frac{R_{1н}}{Z_{1н}}$, град		84,72	88,91
6	Δ_2, мм		1,95	0,058
19	I_1, А	1	13736	15151,5
19	I_1, А	2	3434	3787,8
19	I_1, А	3	1526,25	1683,5
19	I_1, А	4	858,5	946,96

С использованием сопротивлений и токов из таблицы 3 может быть построена векторная диаграмма токов и напряжений ТВЧ индуктора с загрузкой-теплообменником, общий вид которой показан на рисунке 3. Последовательность построения следующая:

$\dot{I}_2$; $\dot{U}_{R2}$; $\dot{U}_{X2}$; $\dot{U}_{XS}$; $\dot{U}_{ab}$; $\dot{I}_0$; $\dot{I}_1$; $\dot{U}_{R1}$; $\dot{U}_{X1}$; $\dot{U}_{1a}$; $\dot{U}_1$. Диакритический знак в условных обозначениях токов и напряжений свидетельствует о том, что токи и напряжения представлены комплексами их действующих значений.

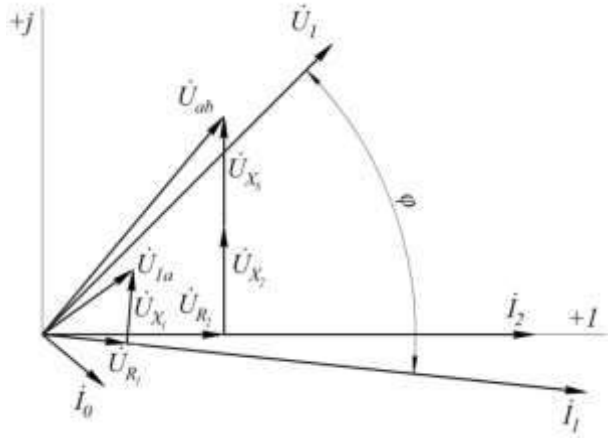


Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов и напряжений ТВЧ индуктора с загрузкой-теплообменником: $\dot{I}_1$ – комплекс тока в индукторе; $\dot{I}_2$ – комплекс тока в теплообменнике; $\dot{I}_0$ – комплекс тока в сопротивлении обратного замыкания; $\dot{U}_{R1}$ и $\dot{U}_{X1}$ – активная и реактивная составляющие комплекса напряжения на соответствующих сопротивлениях индуктора; $\dot{U}_{R2}$ и $\dot{U}_{X2}$ – активная и реактивная составляющие комплекса напряжения на соответствующих сопротивлениях теплообменника; $\dot{U}_{1a}$ и $\dot{U}_{ab}$ – комплексы напряжений между соответствующими узлами схемы замещения; $\dot{U}_1$ – комплекс напряжения на зажимах индуктора схемы замещения

Figure 3 – Vector diagram of currents and voltages of a high-frequency inductor with a heat exchanger load: $\dot{I}_1$ – the complex of current in the inductor; $\dot{I}_2$ – current complex in the heat exchanger; $\dot{I}_0$ – the complex of the current in the reverse circuit resistance; $\dot{U}_{R1}$ и $\dot{U}_{X1}$ – active and reactive components of the voltage complex on the corresponding resistances of the inductor; $\dot{U}_{R2}$ и $\dot{U}_{X2}$ – active and reactive components of the voltage complex on the corresponding resistances of the heat exchanger; $\dot{U}_{1a}$ и $\dot{U}_{ab}$ – voltage complexes between the corresponding nodes of the equivalent circuit; $\dot{U}_1$ – voltage complex at the terminals of the inductor of the equivalent circuit

Обсуждение. Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что при равенстве активного сопротивлений R_1, реактивных сопротивлений индуктора $X_{1м}$, рассеяния X_s и обратного замыкания X_o наблюдается значительное отличие собственных сопротивлений теплообменников, изготовленных из аустенитных и ферритных нержавеющих сплавов: активное R_2 и реактивное $X_{2м}$ сопротивления аустенитной стали на порядок больше аналогичных сопротивлений ферритной. При равенстве реактивных сопротивлений $X_{1н}$ активное сопротивление индуктора $R_{1н}$ нагруженного на теплообменник из аустенитной стали на порядок больше по сравнению с ферритным исполнением теплообменника. КПД процесса индукционного нагрева токами высокой частоты в случае использования аустенитной стали составляет порядка 83 %, что в полной мере согласуется с полученными в [21] оценками, в то время как для ферритных – около 12-13 %. Кроме того, требуемая мощность ТВЧ генератора для нагрева молока с расходом 500 кг/ч от 18 до 80 °С в случае использования аустенитной стали составляет порядка 40 кВт, а при использовании ферритного сплава – 286 кВт, т. е. на порядок меньше. Различие в величинах тока индуктора, зависящее от числа витков индуктора, практически не наблюдается.

Причиной перечисленного являются различающиеся в сотни раз значения относительной магнитной проницаемости нержавеющих сталей, составляющей около 1 для аустенитных и 600-1100 для ферритных, что определяет различную глубину проникновения в нагреваемую поверхность теплообменника на высоких частотах. Следствием перечисленного является то, что в рассматриваемом примере стенка теплообменника толщиной 1 мм из аустенитных сталей на высокой частоте прогревается полностью, тогда как для ферритных сплавов нагреваетсяслой, не превышающий половины толщины стенкитрубки теплообменника и составляющий 0,05 мм. Далее тепловой поток от нагретого токами высокой частоты внешнего тонкого слоя передается к внутренней поверхности трубки теплообменника и далее молоку за счет теплопроводности.

Данные, приведенные в таблице 3 удовлетворительно коррелируют с результатами предварительных экспериментальных исследований процесса индукционного нагрева молока в змеевиковом теплообменнике из нержавеющей стали (рисунок 1, а), проведенных с использованием ТВЧ установки максимальной полной мощностью 100 кВ·А и имеющей возможность реализации резонансных режимов в частотном диапазоне от 40 до 70 кГц.

Заключение. Анализ результатов оценки влияния типа нержавеющей стали используемой в качестве теплообменникав процессе пастеризации молока с помощью индукционного нагрева токами высокой частоты показал, что в качестве материала теплообменного элемента целесообразно применять аустенитные стали, так как КПД нагрева в этом случае составляет порядка 83 %, в то время как для ферритных – около 12-13 %.

Дальнейшее увеличение КПД индукционных проточных нагревателей молока возможно путем использования магнитопроводов из феррита, окружающих витки индуктора, что уменьшает магнитные потоки рассеяния и устраняет эффект близости. Кроме того, в общем случае резонансные частоты будут отличаться для теплообменника из аустенитных и ферритных сталей в случае использования постоянной величины емкости резонансного контура или потребуют ее варьирования для достижения другого значения частоты резонанса, что является предметом дальнейших исследований и оптимизации процесса проточного индукционного ТВЧ нагрева молока.

Conclusions. An analysis of the results of assessing the influence of the type of stainless steel used as a heat exchanger in the process of milk pasteurization using high-frequency induction heating showed that it is advisable to use austenitic steels as the material for the heat exchange element, since the heating efficiency in this case is approximately 83 %, while for ferritic steels it is approximately 12...13 %.

Further increase in the efficiency of induction flow milk heaters is possible by using ferrite magnetic cores surrounding the inductor turns, which reduces magnetic leakage fluxes and eliminates the proximity effect. In addition, in the general case, the resonant frequencies will differ for a heat exchanger made of austenitic and ferritic steels in the case of using a constant value of the resonant circuit capacitance or will require its variation to achieve a different value of the resonant frequency, which is the subject of further research and optimization of the process of flow-through induction high-frequency heating of milk.

Библиографический список

1. Неверов Е. Н., Короткий И. А., Короткая Е. В. и др. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе: энергетика, хранение и переработка: монография. Кемерово: Кемеровский государственный университет. 2025. 216 с.

2. Mahmoud M. Z., Davidson R., Abdelbasset W. K., Fagirya M. A. The new achievements in ultrasonic processing of milk and dairy products. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2022. V. 15 (1). Pp. 199-205.

3. Антипов С. Т., Жучков А. В., Овсянников В. Ю., Бабенко М. С. Математическое моделирование процесса инфракрасной пастеризации молока. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 4 (58). С. 67-72.

4. Ansari J. A., Ismail M., Farid M. Extension of shelf life of pasteurized trim milk using ultraviolet treatment. Journal of Food Safety. 2020. V. 40 (2).

5. Setiawan B., Wakidah R. N., Yulianto Y. Reflective array solar water heater for milk pasteurization. Journal of Environmental Research, Engineering and Management. 2020. V. 76 (4). Pp.131-137.

6. Tigabe S., Bekele A., Pandey V. Performance analysis of the milk pasteurization process using a flat plate solar collector. Journal of Engineering. 2022. V. 2022 (1). Pp.1-13.

7. Al-Hilphy A. R. S., Ali H. I. Milk Flash Pasteurization by the Microwave and Study its Chemical, Microbiological and Thermo Physical Characteristics. Journal of Food Processing & Technology. 2013. V. 4 (7). P. 250.

8. Roy J., Latif U. I., Mujnibeen M. S. A., Kabir M. S., Islam M. I., Alam K. S. Effect of microwave heat treatment on the quality of milk. International Journal of Recent Scientific Research. 2017. V. 8 (9). Pp. 19766-19771.

9. Тараканов Д. А., Михайлова О. В., Коробков А. Н. Разработка СВЧ-установки для пастеризации отбракованного молока. Вестник НГИЭИ. 2018. № 10 (89). С. 44-55.

10. Al-Hilphy A. R. S. Designing and manufacturing of a non thermal milk pasteurizer using electrical field. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 2013. V. 8 (3). Pp. 204-211.

11. Shabbir M. A., Ahmed H., Maan A. A., Rehman A., Afraz M. T., Iqbal M. W., Khan I. M., Amir R. M., Shraf W. A., Khan M. R., Aadil R. M. Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. Food Science and Technology. 2021. V. 41 (2). Pp. 279-294.

12. Tay T. T., Chua Y. L. High temperature short time (HTST) camel milk pasteurization pilot plant. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. V. 10 (15). Pp. 6241-6245.

13. Gana I. M., Gbabo A. Design of mini plant for soya milk production and pasteurization. AgriculturalEngineeringInternational: CIGRJournal. 2017. V. 19 (4). Pp. 45-53.

14. Başaran A., Yilmaz T., Çivi C. Energy and exergy analysis of induction-assisted batch processing in food production: a case study – strawberry jam production. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2020. V. 140. Pp. 1871-1882.

15. Başaran A., Yılmaz T., Azgın Ş. T., Çivi C. Comparison of drinking milk production with conventional and novel inductive heating in pasteurization in terms of energetic, exergetic, economic and environmental aspects. Journal of Cleaner Production. 2021. V. 317. Art. 128280.

16. Razak R. A., Ibrahim N. M., Rahman A. S. F., Fayzul1 M., Azizan1 M. M., Hashim U. et al. Induction heating as cleaner alternative approach in food processing industry. Journal of Physics: Conference Series. 2021. V. 1878 (1).

17. Wu S., Yang N., Jin Y., Li D., Xu Y., Xu X. et al. Development of an innovative induction heating technique for the treatment of liquid food: Principle, experimental validation and application. Journal of Food Engineering. 2020. V. 271.

18. Соловьёв С. В., Морозов В. В., Радкевич Е. В., Карташов Л. П., Макаровская З. В. Обоснование параметров конструктивных элементов индукционного нагревателя для пастеризации молока в потоке. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (75). С. 100-103.

19. Багаев А. А., Бобровский С. О. Методика расчета, оценка энергетической эффективности и направления совершенствования низкотемпературных индукционных коаксиальных нагревателей молока промышленной частоты. Вестник НГИЭИ. 2023. № 7 (146). С. 60-71.

20. Неверов Е. Н., Владимиров А. А., Коротких П. С., Николаева Е. В., Порохнов А. Н. Научно-технические основы разработки установки с индукционным нагревом для пастеризации молока. Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34. № 1. С. 128-144.

21. Bagaev A. A., Bobrovskiy S. O. Electro technological heat treatment of milk: energy and exergy efficiency. Food Processing: Techniques and Technology. 2023. V. 53. No 2. Pp. 272-278.

22. Багаев А. А., Бобровский С. О. Интенсификация теплообмена в цилиндрическом змеевиковом теплообменнике электронагревателя с косвенным способом теплопередачи. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 127-131.

References

1. Neverov E. N., Korotkiy I. A., Korotkaya E. V. et al. Innovative technologies in the agro-industrial complex: energy, storage and processing: monograph. Kemerovo: Kemerovo State University. 2025. 216 p.

2. Mahmoud M. Z., Davidson R., Abdelbasset W. K., Fagirya M. A. The new achievements in ultrasonic processing of milk and dairy products. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. 2022. V. 15 (1). Pp. 199-205.

3. Antipov S. T., Zhuchkov A. V., Ovsyannikov V. Yu., Babenko M. S. Mathematical modeling of infrared milk pasteurization. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2013. No. 4 (58). Pp. 67-72.

4. Ansari J. A., Ismail M., Farid M. Extension of shelf life of pasteurized trim milk using ultraviolet treatment. Journal of Food Safety. 2020. V. 40 (2).

5. Setiawan B., Wakidah R. N., Yulianto Y. Reflective array solar water heater for milk pasteurization. Journal of Environmental Research, Engineering and Management. 2020. V. 76 (4). Pp.131-137.

6. Tigabe S., Bekele A., Pandey V. Performance analysis of the milk pasteurization process using a flat plate solar collector. Journal of Engineering. 2022. V. 2022 (1). Pp.1-13.

7. Al-Hilphy A. R. S., Ali H. I. Milk Flash Pasteurization by the Microwave and Study its Chemical, Microbiological and Thermo Physical Characteristics. Journal of Food Processing & Technology. 2013. V. 4 (7). P. 250.

8. Roy J., Latif U. I., Mujnibeen M. S. A., Kabir M. S., Islam M. I., Alam K. S. Effect of microwave heat treatment on the quality of milk. International Journal of Recent Scientific Research. 2017. V. 8 (9). Pp.19766-19771.

9. Tarakanov D. A., Mikhailov O. V., Korobkov A. N. The Development of microwave system for pasteurization of milk mastitogo. Bulletin NGIEI. 2018. No. 10 (89). Pp. 44-55.

10. Al-Hilphy A. R. S. Designing and manufacturing of a non thermal milk pasteurizer using electrical field. American Journal of Agricultural and Biological Sciences. 2013. V. 8 (3). Pp. 204-211.

11. Shabbir M. A., Ahmed H., Maan A. A., Rehman A., Afraz M. T., Iqbal M. W., Khan I. M., Amir R. M., Shraf W. A., Khan M. R., Aadil R. M. Effect of non-thermal processing techniques on pathogenic and spoilage microorganisms of milk and milk products. Food Science and Technology. 2021. V. 41 (2). Pp. 279-294.

12. Tay T. T., Chua Y. L. High temperature short time (HTST) camel milk pasteurization pilot plant. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. V. 10 (15). Pp. 6241-6245.

13. Gana I. M., Gbabo A. Design of mini plant for soya milk production and pasteurization. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2017. V. 19 (4). Pp. 45-53.

14. Başaran A., Yilmaz T., Çivi C. Energy and exergy analysis of induction-assisted batch processing in food production: a case study – strawberry jam production. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2020. V. 140. Pp. 1871-1882.

15. Başaran A., Yılmaz T., Azgın Ş. T., Çivi C. Comparison of drinking milk production with conventional and novel inductive heating in pasteurization in terms of energetic, exergetic, economic and environmental aspects. Journal of Cleaner Production. 2021. V. 317. Art. 128280.

16. Razak R. A., Ibrahim N. M., Rahman A. S. F., Fayzul1 M., Azizan1 M. M, Hashim U. et al. Induction heating as cleaner alternative approach in food processing industry. Journal of Physics: Conference Series. 2021. V. 1878 (1).

17. Wu S., Yang N., Jin Y., Li D., Xu Y., Xu X. et al. Development of an innovative induction heating technique for the treatment of liquid food: Principle, experimental validation and application. Journal of Food Engineering. 2020. V. 271.

18. Soloviev S. V, Morozov V. V., Radkevich E. V., Kartashov L. P., Makarovskaya Z. V. Rationale of parameters of constructive elements of an induction heater for pasteurizing milk in a stream. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 75 (1). Pp.100-103.

19. Bagaev A. A., Bobrovsky S. O. Low-temperature induction coaxial milk heaters of industrial frequency: calculation methodology, assessment of energy efficiency and areas of improvement. Bulletin NGIEI. 2023. No. 7 (146). Pp. 60-71.

20. Neverov E. N., Vladimirov A. A., Korotkih P. S., Nikolaeva E. V., Porokhnov A. N. Scientific and technical basis for the development of an induction heating unit for milk pasteurization. Engineering Technologies and Systems. 2024. V. 34. No. 1. Pp. 128-144.

21. Bagaev A. A., Bobrovskiy S. O. Electro technological heat treatment of milk: energy and exergy efficiency. Food Processing: Techniques and Technology. 2023. V. 53. No. 2. Pp. 272-278.

22. Bagaev A. A., Bobrovsky S. O. Heat transfer intensification in a cylindrical coil heat exchanger of an electric heater with indirect heat transfer. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No. 5 (199). Pp. 127-131.

Информация об авторах
Багаев Андрей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98), ORCIDID: 0000-0003-2586-2590, SPIN-код: 7421-2807, Scopus AuthorID: 57205438220, Author ID: 689064, e-mail: BAGAEV710@mail.ru
Бобровский Сергей Олегович, старший преподаватель кафедры, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98), ORCID ID: 0000-0001-9243-0179, SPIN-код: 5222-6537, Scopus Author ID: 58608530600, AuthorID: 1004007, e-mail: sergej.bobrovskij.95@mail.ru

Authors' Information
Bagaev Andrey Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Altai State Agrarian University (Russian Federation, 656049, Barnaul, Krasnoarmeysky Ave., 98), ORCID ID: 0000-0003-2586-2590, SPIN-код: 7421-2807, Scopus AuthorID: 57205438220, Author ID: 689064, e-mail: BAGAEV710@mail.ru
Bobrovsky Sergey Olegovich, Senior Lecturer, Altai State Agrarian University (Russian Federation, 656049, Barnaul, Krasnoarmeysky Ave., 98), ORCID ID: 0000-0001-9243-0179; SPIN-код: 5222-6537; Scopus Author ID: 58608530600; AuthorID: 1004007, e-mail: sergej.bobrovskij.95@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-55

THE TEST RESULTS ANALYSIS OF THE RAIN-GENERATING DEVICES AT THE VARIOUS PRESSURES

Bakirov S. M., Kolganov D. A., Ivanova A. S.

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

Corresponding author E-mail: s.m.bakirov@vavilovsar.ru

Received 08.02.2026 Submitted 06.05.2026

The studies were carried out within the theme FGUF-2022-0001: To develop models of biosphere nature management optimization for efficient use of climatic, land and water resources in natural-climatic zones of the European part of Russia, technologies of creation and management of ameliorative regimes providing increase of soil energy potential due to regulation of water and biogenic substances flows.

Abstract

Introduction. The efficiency of sprinkler machines directly depends on the technical characteristics of rain-forming devices (nozzles), the key parameters of which are the capture width and droplet size. Under real operating conditions, the pressure in the irrigation network is often unstable, which can affect the rain quality and irrigation uniformity. The use of pressure regulators partially solves this problem, but their influence on droplet formation under variable pressure has been insufficiently studied and requires experimental confirmation. **The object of the study** is the rain-forming devices of domestic (Kaskad-Meliomash type) and foreign manufacture (Komet KPS, Senninger i-Wob) with different nozzle diameters, both with and without pressure regulators. **Materials and methods.** The tests were carried out on a specialized laboratory stand that allows adjusting the pressure and height of the nozzles. A holographic disdrometer operating on an optical principle was used for high-precision dynamic measurement of droplet sizes. The distribution of droplets by diameter was analyzed depending on the distance from the nozzle (capture radius) and the pressure in the system. **Results.** The experiment established that in the near zone (radius of 1-2 m), droplets with a diameter of 0.2-1.0 mm predominate for all devices. Pressure variation has an insignificant effect on the distribution pattern in this zone (deviations of 5.4-11.7 %). The most significant effect of pressure was found for foreign nozzles in the 2-4 m zone: at reduced pressure, the number of large droplets (up to 2.5 mm) increases by a factor of 2.1-4.5. The domestic "Kaskad-Meliomash" nozzle forms 30-40 % of droplets with a diameter of 0.5-1.7 mm, while foreign analogues create a more uniform front of droplets up to 6.0 mm in diameter. The use of pressure regulators helps stabilize droplet sizes, especially for domestic models. **Conclusion.** The obtained data make it possible to predict the operation of sprinkler systems under variable pressure conditions and to make informed choices of nozzle types for specific agrotechnical conditions. The test results provide a basis for improving the designs of rain-forming devices and increasing the efficiency of water resource use in irrigation.

Keywords: *rain-generating devices, sprinkling machines, the width of the rain-generating device, the distribution of the rain-generating device's droplets, sprinkling technologies.*

Citation. Bakirov S. M., Kolganov D. A., Ivanova A. S. The test results analysis of the rain-generating devices at the various pressures. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 490-497 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-55.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 631.374+631.674.5

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ДОЖДЕОБРАЗУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА РАЗНОМ ДАВЛЕНИИ

Бакиров С. М., *доктор технических наук, доцент*
Колганов Д. А., *кандидат технических наук, доцент*
Иванова А. С., *кандидат биологических наук, доцент*

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова
г. Саратов, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения темы FGUF–2022–0001: Разработать модели оптимизации биосферного природопользования для эффективного использования климатических, земельных и водных ресурсов в природно-климатических зонах европейской части России, технологии создания и управления мелиоративными режимами, обеспечивающими повышение энергетического потенциала почвы за счет регулирования потоков воды и биогенных веществ.

Аннотация. Эффективность работы дождевальных машин напрямую зависит от технических характеристик дождеобразующих устройств (насадок), ключевыми параметрами которых являются ширина захвата и крупность капель. В условиях реальной эксплуатации давление в оросительной сети часто нестабильно, что может влиять на качество дождя и равномерность полива. Использование регуляторов давления частично решает эту проблему, однако их влияние на формирование капель при переменном давлении изучено недостаточно и требует экспериментального подтверждения. **Объект исследования.** Объектом исследования являются дождеобразующие устройства отечественного (типа «Каскад-Мелиомаш») и зарубежного производства (Komet KPS, Senninger i-Wob) с различными диаметрами дюз, как с регуляторами давления, так и без них. **Материалы и методы.** Испытания проводились на специализированном лабораторном стенде, позволяющем регулировать давление и высоту подвеса насадок. Для высокоточного определения размеров капель в динамике применялся голографический дисдрометр, работающий на оптическом принципе. Анализировалось распределение капель по диаметрам в зависимости от удаленности от насадки (радиус захвата) и давления в системе. **Результаты.** В ходе эксперимента установлено, что в ближней зоне (радиус 1-2 м) у всех устройств преобладают капли диаметром 0,2-1,0 мм. Изменение давления незначительно влияет на картину распределения в этой зоне (отклонения 5,4-11,7 %). Наиболее существенное влияние давления выявлено у зарубежных насадок в зоне 2-4 м: при пониженном давлении количество крупных капель (до 2,5 мм) возрастает в 2,1-4,5 раза. Отечественная насадка «Каскад-Мелиомаш» формирует 30-40 % капель диаметром 0,5-1,7 мм, в то время как зарубежные аналоги создают более равномерный фронт капель диаметром до 6,0 мм. Применение регуляторов давления способствует стабилизации размеров капель, особенно у отечественных образцов. **Заключение.** Полученные данные позволяют прогнозировать работу дождевальных систем в условиях переменного давления и обоснованно выбирать тип насадок для конкретных агротехнических условий. Результаты испытаний создают основу для совершенствования конструкций дождеобразующих устройств и повышения эффективности использования водных ресурсов при орошении.

Ключевые слова: *дождеобразующие устройства, дождевальные машины, ширина захвата дождеобразующего устройства, распределение капель дождеобразующего устройства, технологии дождевания.*

Цитирование. Бакиров С. М., Колганов Д. А., Иванова А. С. Анализ результатов испытаний дождеобразующих устройств на разном давлении. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 490-497. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-55.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Основным элементом дождевальных машин являются дождеобразующие устройства, которые формируют их целевое назначение [1-5]. Качество дождя определяется многими параметрами, из которых можно выделить основные: ширина захвата каждой насадки и крупность (диаметр, объем) капли. В связи с этим появилось понятие «энергия капли», формируемая на выходе из дождевальной насадки. В различных литературных источниках понятие «энергия капли» используется как параметр, по которому определяют, как далеко капля может улететь от проекции насадки на поле и при этом, при подлете к поверхности грунта, не разрушить гумусный слой, то есть не размыть почву.

С практической точки зрения агрономы и частные фермеры рассуждают так, что приоритетным значением дождеобразующей насадки является ширина захвата, а, например, крупность или высокая кинетическая энергия капли не принимаются во внимание. Это проис-

ходит из-за того, что при поливе взаимодействие капли с поверхностью гумусного слоя происходит через растения. Только лишь при первых поливах, когда растения находятся на ранней стадии роста, капли с высокой энергией могут незначительно разбить или частично смыть верхний слой почвы. На рынке представлено множество дождеобразующих насадок [6], которые при заявленных технических характеристиках сети (подаче и давлении) формируют необходимую крупность.

Особенностью эксплуатации парка дождевальных машин, когда на поле в работе используется 5-10 шт. машин от одной оросительной сети, является резкое изменение давления на входе в течение одного полива из-за технологических режимов орошения, аварий, сбоев в работе и т. п. Тогда дождеобразующие устройства стали поставлять с компактными регуляторами давления. Однако при рассмотрении водопроводящего пояса машины как единого целого, с учетом действия регуляторов давления на каждой насадке, встает вопрос о сохранении заводских параметров формирования капель всех насадок в совокупности по заявленным характеристикам. Однозначно теоретически определить параметры капель, формируемые дождеобразующими устройствами с регуляторами давления при разном, изменяющемся давлении в водопроводящем поясе, сложно, так как множество факторов являются случайными и проявляются с разной степенью вероятности [3-6]. Поэтому данный процесс требует проведения эксперимента с математическим планированием влияющих факторов.

Материалы и методы. В работе используются основные положения механики жидкости и газа, основы гидравлики, гидрогазодинамики и других смежных дисциплин.

Измерение объема капли проводилось как традиционным способом через фильтровальную бумагу [7], так и с использованием нового прибора голографического дисдрометра (рисунок 1).



Рисунок 1 – Голографический дисдрометр для определения размеров капель оптическим методом
Figure 1 – Holographic disdrometer for determining droplet sizes using the optical method

Принцип действия данного дистрометра представлен в работах [8, 9] и основан на определении площади капли методом голографии, которую успевает зафиксировать луч между элементами прибора. Далее на основе площади капли с использованием математической модели рассчитываются примерные объем и диаметр капли. Принцип измерения показан на рисунке 2.

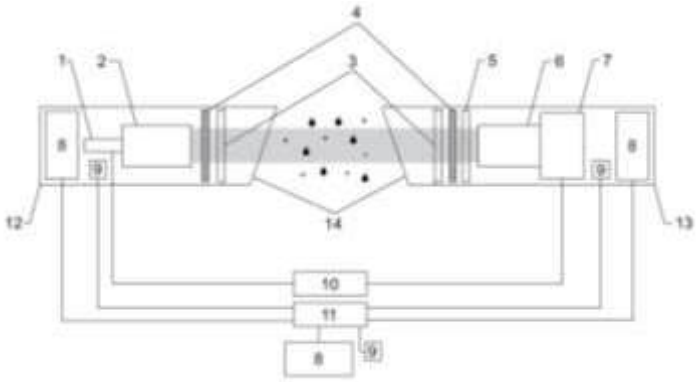


Рисунок 2 – Устройство голографического дистрометра
1 – лазерный источник; 2 – расширитель пучка; 3 – оптические окна;
4 – поляризаторы; 5 – узкополосный фильтр; 6 – объектив; 7 – видеокамера;
8 – подогреватели; 9 – датчик температуры; 10 – блок хранения и передачи; 11 – блок управления;
12,13 – корпус; 14 –защитные козырьки
Figure 2 – Device of the holographic distrometer 1 – laser source; 2 – beam expander; 3 – optical windows;
4 – polarizers; 5 – narrow-band filter; 6 – lens; 7 – video camera; 8 – heaters; 9 – temperature sensor;
10 – storage and transmission unit; 11 – control unit; 12,13 – housing; 14 – protective visors

Для исследования различных насадок дождеобразующих устройств соберем лабораторный стенд, позволяющий моделировать изменение давления в сети, высоту подвеса насадки (определение радиуса полива), интенсивность и равномерность полива на радиусе захвата (рисунок 3).



Рисунок 3 – Общий вид лабораторного стенда исследования дождеобразующих устройств
1 – стенд регулирования давления на насадке; 2 – испытуемое дождеобразующее устройство;
3 – голографический дисдрометр
Figure 3 – General view of the laboratory stand for testing rain-generating devices 1 – nozzle pressure regulation stand; 2 – test rain-generating device; 3 – holographic disdrometer

В ходе испытаний определим распределение крупности капель по радиусу захвата каждого испытуемого устройства при разном давлении в сети.

Результаты исследований. Для проведения эксперимента было принято решение использовать различные дождеобразующие устройства, в том числе новой конфигурации, которые проходят первые испытания перед запуском в серийное производство (рисунок 4).



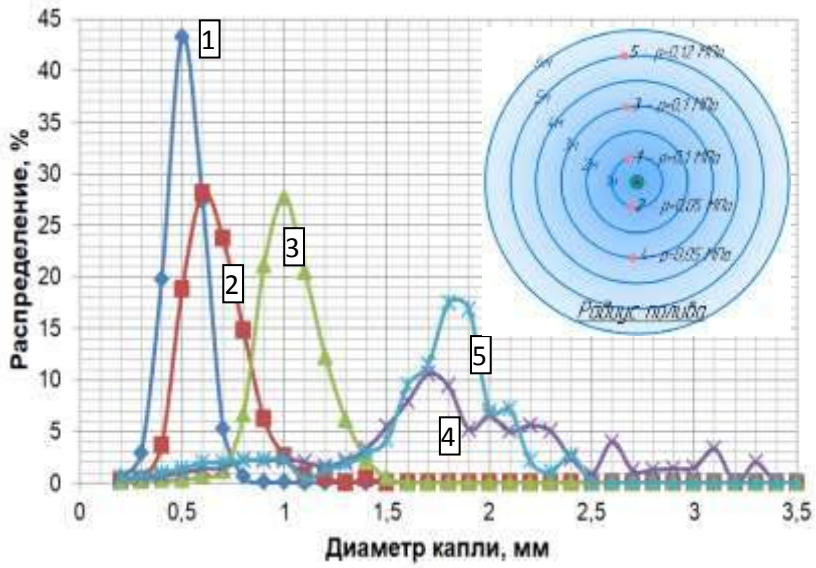
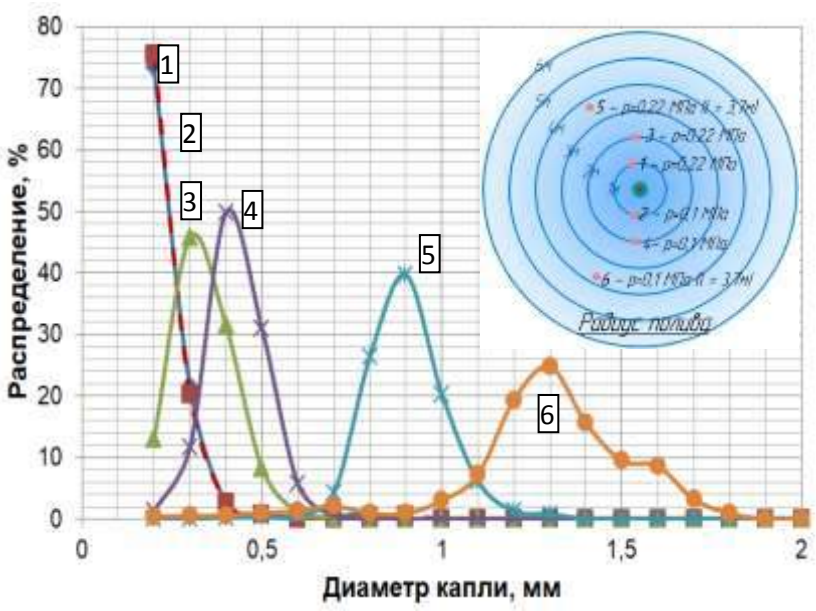
Рисунок 4 – Дождеобразующие устройства
Figure 4 – Rain-making devices

Результаты распределения капель представлены в таблице 1.

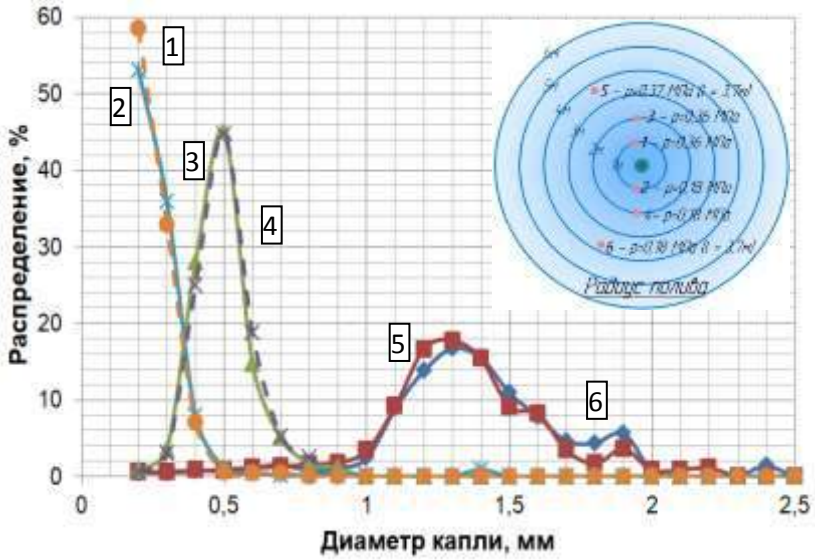
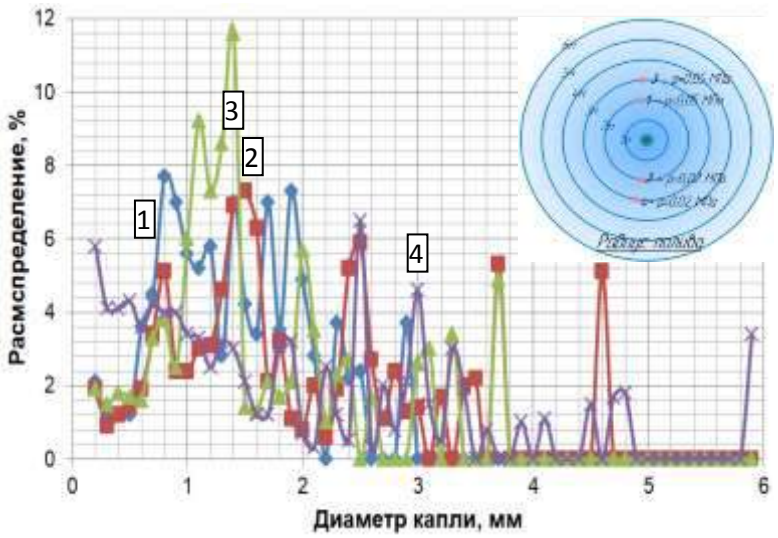
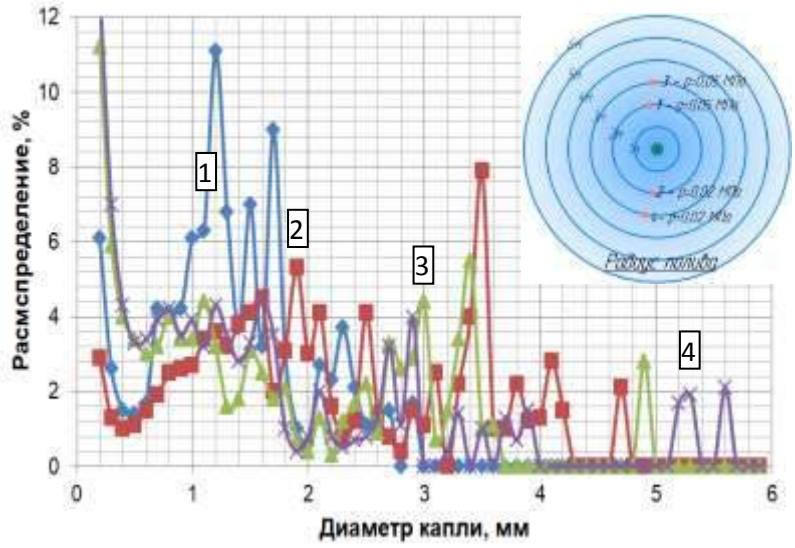
В таблице указан объём капель соответствующего диаметра в процентах от суммарно зарегистрированного количества всех капель. Капли диаметром менее 0,2 мм не регистрируются, так как они вне диапазона измерения голографического дисдрометра. Также капель диаметром свыше 6,0 мм зарегистрировано не было.

В ходе проведения эксперимента прибором также фиксировался общий объем зарегистрированных капель, который составил от 0,10 до 2,0 мл.

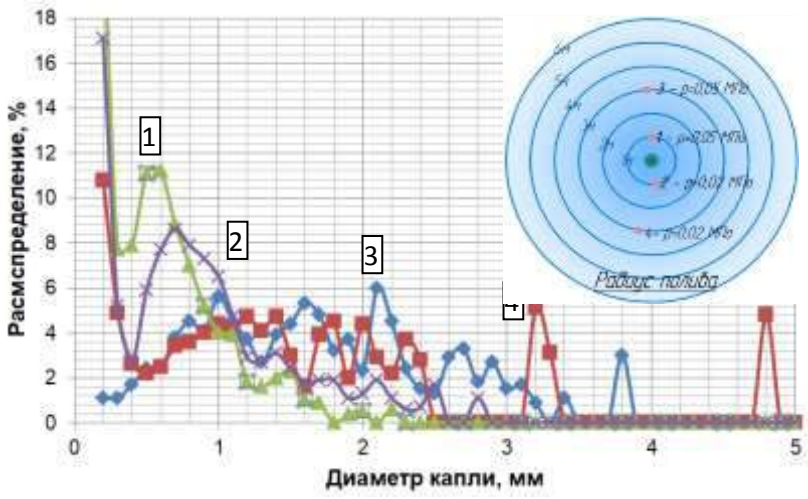
Таблица 1 – Результаты распределения размеров капель дождеобразующих устройств типа «Каскад-Мелиомаш», Komet KPS, Senninger i-Wob
Table 1 – Results of droplet size distribution of rain-generating devices of the Kaskad-Meliomash, Komet KPS, and Senninger i-Wob types

Тип дождеобразующего устройства / Type of rain forming device	Результаты распределения (%) получаемых капель разного диаметра относительно места установки прибора / Distribution results (%) of the resulting droplets of different diameters relative to the location of the device
1	2
 С дюзом 8 мм Без регулятора давления / With the 8 mm nozzle Without the pressure regulator	
 С дюзом 6 мм Без регулятора давления / With the 6 mm nozzle Without the pressure regulator	

Продолжение таблицы 1

2	2
 С дюзом 6 мм с регулятором давления 0,7 бар / With the 6 mm nozzle with the 0.7 bar pressure regulator	
 С дюзом 9 мм Без регулятора давления / With the 9 mm nozzle Without the pressure regulator	
 С дюзом 9 мм с регулятором давления 0,7 бар / With the 9 mm nozzle with the 0.7 bar pressure regulator	

Окончание таблицы 1

1	2
 С дюзом 10 мм Без регулятора давления / With the 10 mm nozzle Without the pressure regulator	

Анализ распределения крупности капель показал, что в радиусе 1-2 м большую долю занимают капли диаметром от 0,2 до 1,0 мм в связи с их низкой кинетической энергией. Причем давление в сети незначительно изменяет форму и количество капель, выпадающих возле насадки. Отклонение распределения капель в радиусе захвата 1-2 м составляет от 5,4 до 11,7 % по диаметру и находится в пределах статистической ошибки изменения случайной величины. Однако изменение распределения капель иностранных дождеобразующих устройств значительно выше при изменении давления в сети. Крупных капель диаметром до 2,5 мм при низком давлении формируется в 2,1-4,5 раза больше на радиусе захвата 1-2 м.

В радиусе захвата 2-4 м формируются капли с диаметром 1,0-3,0 мм, и максимальный объем выливаемой воды в 1,8-3,1 раза превышающий относительный объем на радиусе захвата 1-2 м. Стоит отметить четкую особенность того, что отечественная насадка «Каскад-Мелиомаш» формирует капли диаметром от 0,5 до 1,7 мм в количестве 30-40 % от общего числа капель, тогда как зарубежные дождеобразующие устройства формируют равномерный фронт диаметров от 1,0 до 6,0 мм.

Использование регулятора давления несколько изменяет количественное распределение капель дождеобразующего устройства. Для насадки «Каскад-Мелиомаш» регулятор давления способствует формированию одинаковых капель с отклонением в 2,0-4,0 %. Это связано с тем, что струя воды разбивается по нормальному закону распределения случайной величины, в отличие от формирования капель в зарубежных дождеобразующих устройствах, которые имеют концевые элементы, вносящие дополнительную случайность.

Заключение. Таким образом, результаты испытаний различных насадок дождеобразующих устройств при разном давлении в сети показывают, что формирование капель зависит от давления и наличия дополнительного элемента, вносящего случайность. С помощью голографического дисдрометра установлено, что у зарубежных насадок формируется равномерный фронт крупности капель, а у отечественной насадки «Каскад-Мелиомаш» 30-40 % капель от общего числа имеют диаметр от 0,5 до 1,7 мм. Полученные результаты распределения капель дождеобразующих устройств позволят определить применение конкретных насадок для отдельных орошаемых культур.

Постановка данного эксперимента структурирует работу по исследованию различных дождеобразующих устройств и расширяет возможности поиска новых решений по конструированию новых форм дождеобразующих насадок.

Conclusions. Thus, the results of testing various nozzles of rain-forming devices at different network pressures show that the formation of droplets depends on the pressure and an additional element that introduces additional randomness. Using a holographic disdrometer, it was found that foreign nozzles produce a uniform droplet size distribution, while the domestic nozzle "Kaskazh Melio-

mash" produces 30-40 % of droplets with a diameter of 0.5 to 1.7 mm out of the total number of droplets. The obtained results of the distribution of droplets of rain-generating devices will allow to determine the application of specific nozzles for individual irrigated crops.

The setting of this experiment structures the work on the study of various rain-generating devices and expands the possibility of searching for new solutions for the construction of new forms of rain-generating nozzles.

Библиографический список

1. Азизов И. Р. и др. Результаты исследований агротехнических показателей равномерности распределения дождя струйной веерной дождеобразующей насадкой при поливе грибов. Аграрный научный журнал. 2023. №. 3. С. 111-115.
2. Рыжко Н. Ф. и др. Современные низконапорные многоопорные дождевальные машины, применяемые на оросительных системах, и направления их совершенствования. Орошаемое земледелие. 2020. № 2. С. 46-49.
3. Кравчук А. В., Русинов Д. А. Теоретическое обоснование конструктивных параметров вращающегося дефлекторного конуса дождевальной насадки, обеспечивающей повышение ветроустойчивости дождя. Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 146-150.
4. Ломакин М. А., Карпова О. В. Современные насадки зарубежной дождевальной техники. Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях. 2020. С. 53-57.
5. Акпасов А. П., Туктаров Р. Б., Кулявцева А. А. Подбор дождеобразующих устройств для повышения качественных показателей полива системы комбинированного орошения. Московский экономический журнал. 2023. № 9. С. 38-48.
6. Ольгаренко Г. В. и др. Дождеобразующее устройство дождевальной машины. 2011.
7. Гжибовский С. А. Влагоудерживающая способность листьев и распределение дождя при мелкодисперсном дождевании. Аграрная наука в инновационном развитии АПК. 2018. С. 59-66.
8. Екимов Д. Цифровой голографический дисдрометр для мониторинга осадков. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2019. Т. 1400. № 6. Ст. 066020.
9. Чалов С. Р., Ефимов В. А. Гранулометрический состав взвешенных наносов: характеристики, классификации, пространственная изменчивость. Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2021. № 4. С. 91-103.

References

1. Azizov I. R., et al. Results of studies of agrotechnical indicators of rain distribution by a jet fan-shaped rain-forming nozzle during irrigation of mushrooms. Agrarian Scientific Journal. 2023. No 3. Pp. 111-115.
2. Ryzhko N. F. et al. Modern pressure multi-support low-porosity sprinkler machines used for irrigation activities and their direction with the advent. Irrigated agriculture. 2020. No. 2. Pp. 46-49.
3. Kravchuk A. V., Rusinov D. A. Theoretical substantiation of the design parameters of the rotation of the deflector of the sprinkler nozzle cone, ensuring increased wind resistance of rain. Agrarian Scientific Journal. 2023. No. 5. Pp. 146-150.
4. Lomakin M. A., Karpova O. V. Modern nozzles of foreign sprinkler equipment. Innovations in environmental management and protection on the ground. 2020. Pp. 53-57.
5. Akpasov A. P., Tuktarov R. B., Kulyavtseva A. A. Selection of rain-forming devices to improve the watering performance of a combined irrigation system. Moscow Economic Journal. 2023. No. 9. Pp. 38-48.
6. Olgarenko G. V. et al. Rain-forming device of a sprinkler machine. 2011.
7. Grzybowski S. A. Water-holding capacity of leaves and rainfall transport under fine sprinkling. Agricultural science in innovative development of the agro-industrial complex. 2018. Pp. 59-66.
8. Ekimov D. Digital holographic disdrometer for precipitation. Physics: Conference series. IOP Publishing House, 2019. Vol. 1400. No. 6. Art. 066020.
9. Chalov S. R., Efimov V. A. Granulometric composition of suspended sediments: characteristics, classification, spatial variability. Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography. 2021. No 4. Pp. 91-103.

Информация об авторах

Бакиров Сергей Мударисович, доктор технических наук, доцент, директор, Институт инженерии и робототехники ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект имени Петра Столыпина, 4/3), e-mail: s.m.bakirov@mail.ru
Колганов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект имени Петра Столыпина, 4/3), e-mail: dmi.kolg@mail.ru
Иванова Анастасия Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, проспект имени Петра Столыпина, 4/3), e-mail: anastasiia_ivanova_mn@mail.ru

Authors' Information

Bakirov Sergey Mudarisovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Director, Institute of Engineering and Robotics, N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: s.m.bakirov@mail.ru
Kolganov Dmitry Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor, N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: dmi.kolg@mail.ru
Ivanova Anastasia Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: anastasiia_ivanova_mn@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-56

THE DIGITAL INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE AGRICULTURAL BIOCENOSES RATIONAL USAGE IN THE RISKY FARMING CONDITIONS: THE PROBLEM STATEMENT, THE CROSS-INDUSTRY TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OVERVIEW AND THE CRITICAL TECHNOLOGIES META-ANALYSIS

[1,2]Vorob'eva N. S., [1]Tokarev K. E., [2]Ziyatdinov R. R., [1]Ivanov A. G.

[1]Volgograd State Agricultural University
Volgograd, Russian Federation
[2]Naberezhnye Chelny Institute – the branch of the Kazan (Volga region) Federal University
Naberezhnye Chelny, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vgsxa@mail.ru

Received 22.05.2026 Submitted 25.06.2026

The research was conducted as part of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation's research project "Development of resource-saving machines for cultivating agricultural crops and systems for the rational use of agricultural biocenoses based on innovative digital technologies in the context of risky farming for obtaining environmentally friendly processed plant products."

Abstract

Introduction. Traditional approaches to agricultural production in conditions of risky farming demonstrate low efficiency, which necessitates the transition to new tools for managing growth factors and the development of agricultural biocenoses based on digital innovative technologies. There is a lack of systematic data on the cross-industry nature of digital solutions and the system of critical technologies necessary for their successful implementation. **The purpose of the study** is the comprehensive analysis of the use of digital innovative technologies for the rational use of agricultural biocenoses in risky farming, including problem formulation and identification of systemic contradictions, a review of cross-industry technological solutions and a meta-analysis of the effectiveness of critical technologies. **Scientific problem.** The existing models of digital technology implementation do not provide sufficient adaptability to the conditions of risky farming and the system integration of cross-industry solutions, which leads to low investment efficiency, insufficient impact on the productivity of agricultural biocenoses and the inability to achieve a balance between productivity and environmental sustainability. The practical significance of the study made it possible to formulate a scientific problem related to the lack of systemic integration of intersectoral technical and technological solutions for managing factors of growth and development of agricultural biocenoses. The results of the study made it possible to formulate a scientific concept for the integrated system implementation of digital innovative technologies for the rational use of agricultural biocenoses in risky farming.

Keywords: *digital innovative technologies, risky agriculture, agricultural biocenosis, meta-analysis, precision technologies, sustainability of agricultural biosystems, critical technologies, intersectoral solutions.*

Citation. Vorob'eva N. S., Tokarev K. E., Ziyatdinov R. R., Ivanov A. G. The digital innovative technologies for the agricultural biocenoses rational usage in the risky farming conditions: the problem statement, the cross-industry technological solutions overview and the critical technologies meta-analysis. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 498-509 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-56.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.5:004.085.7

ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АГРОБИОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ РИСКОВАННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ, ОБЗОР МЕЖОТРАСЛЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И МЕТА-АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

[1,2]Воробьева Н. С., *доктор технических наук, доцент*
[1]Токарев К. Е., *кандидат экономических наук, доцент*
[2]Зиятдинов Р. Р., *кандидат технических наук, доцент*
[1]Иванов А. Г., *кандидат технических наук, доцент*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]Набережночелнинский институт (филиал) КФУ
г. Набережные Челны, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках НИР Минобрнауки РФ «Разработка ресурсосберегающих машин для возделывания сельскохозяйственных культур и систем рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий в условиях рискованного земледелия для получения экологически чистых продуктов переработки растительного сырья».

Актуальность. Традиционные подходы к ведению сельскохозяйственного производства в условиях рискованного земледелия демонстрируют низкую эффективность, что обуславливает необходимость перехода к новым инструментам управления факторами роста и развития агробиоценозов

на основе цифровых инновационных технологий. Отсутствуют систематизированные данные о межотраслевой природе цифровых решений и системе критических технологий, необходимых для их успешной реализации. **Цель исследования** – комплексный анализ применения цифровых инновационных технологий для рационального использования агробиоценозов в условиях рискованного земледелия, включая постановку проблемы и выявление системных противоречий, обзор межотраслевых технологических решений и мета-анализ эффективности критических технологий. **Научная проблема.** Существующие модели внедрения цифровых технологий не обеспечивают достаточной адаптивности к условиям рискованного земледелия и системной интеграции межотраслевых решений, что приводит к низкой эффективности инвестиций, недостаточному влиянию на продуктивность агробиоценозов и невозможности достижения баланса между продуктивностью и экологической устойчивостью. **Практическая значимость** исследования позволила сформулировать научную проблему, связанную с отсутствием системной интеграции межотраслевых технико-технологических решений для управления факторами роста и развития агробиоценозов. **Результаты** проведённого исследования позволили сформулировать научную концепцию для комплексного системного внедрения цифровых инновационных технологий рационального использования агробиоценозов в условиях рискованного земледелия.

Ключевые слова: *цифровые инновационные технологии, рискованное земледелие, агробиоценозы, мета-анализ, прецизионные технологии, устойчивость агробиосистем, критические технологии, межотраслевые решения.*

Цитирование. Воробьева Н. С., Токарев К. Е., Зиятдинов Р. Р., Иванов А. Г. Цифровые инновационные технологии рационального использования агробиоценозов в условиях рискованного земледелия: постановка проблемы, обзор межотраслевых технологических решений и мета-анализ критических технологий. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 498-509. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-56.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Современное развитие агропромышленного комплекса происходит в условиях беспрецедентного развития цифровых интеллектуальных технологий, нестабильности природно-климатических условий, технологического отставания и ряда других социально-экономических факторов. Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, к 2030 году площадь земель, подверженных засухам и деградации почв, может увеличиться на 15-20 %. Для зон рискованного земледелия, к которым относится значительная часть территорий Российской федерации, эти изменения создают критические угрозы для продовольственной безопасности и реализации политики импортозамещения.

Несмотря на активное развитие цифровых решений, их внедрение в зонах рискованного земледелия остаётся фрагментарным и недостаточно эффективным. Существующие исследования зачастую фокусируются на отдельных технологических аспектах без комплексного анализа их влияния на устойчивость агробиоценозов как целостных агроэкосистем. Рациональное использование агробиоценозов предполагает поддержание баланса между продуктивностью сельскохозяйственных культур и экологической устойчивостью агросистемы. Однако на практике, достижение этого баланса осложняется комплексом взаимосвязанных проблем, которые могут быть систематизированы и проанализированы методами мета-анализа.

Цель исследования – комплексный анализ применения цифровых инновационных технологий для рационального использования агробиоценозов в условиях рискованного земледелия, включая постановку проблемы и выявление системных противоречий, обзор межотраслевых технологических решений и мета-анализ эффективности критических технологий.

Научная концепция исследования определяется тем, что существующие модели внедрения цифровых технологий не обеспечивают достаточной адаптивности к условиям рискованного земледелия и системной интеграции межотраслевых решений, что приводит к низкой эффективности инвестиций, недостаточному влиянию на продуктивность агробиоценозов и невозможности достижения баланса между продуктивностью и экологической устойчивостью.

Практическая значимость исследования позволила сформулировать научную проблему, связанную с отсутствием системной интеграции межотраслевых технико-технологических решений для управления факторами роста и развития агробиоценозов.

Обоснование актуальности и постановка проблемы. Отечественное сельское хозяйство, в том числе растениеводство, сталкивается с множеством проблем, связанных с глобальным изменением климата, ухудшением качества почв и их деградацией, а также воз-

действием абиотических и антропогенных факторов. В складывающихся условиях возрастает необходимость в эффективных методах оперативного мониторинга состояния развития агробиоценозов и управления продукционными процессами в промышленном растениеводстве, что обуславливает необходимость и актуальность подготовки соответствующих тематических обзоров [1-5].

Цифровые, в том числе интеллектуальные технологии, представляют собой высокоэффективные инструменты для оценки текущего состояния развития агрофитоценозов и повышения продуктивности растениеводческих агроэкосистем в условиях рискованного земледелия. В статье представлен мета-анализ существующих технологий и подходов к мониторингу развития и фитосанитарного состояния агробиоценозов с применением цифровых технологий [6-7].

Опубликованные ранее обширные обзоры, например, Ториков В. Е., Гостев А. В., Шевченко А. В., Гулянов Ю. А., Oliveira, L. F. P., Sasykov A. E. [1-6] являются слишком широкими и охватывает период до 2021 г., а современные аналитические исследования Е. Д. Волкова, Д. А. Соловьев, Завалин А. А. [7-10] ограничены применением беспилотных авиационных систем и данных дистанционного зондирования в растениеводстве интенсивного типа.

Агробиоценоз представляет собой сложную искусственную экобиосистему, где культурные растения взаимодействуют с почвенной биотой, вредителями, болезнями и абиотическими факторами различной природы. Рациональное использование агробиоценозов требует высокотехнологичного мониторинга урожайности, ресурсоэффективности и природно-климатических условий, а также оперативного управления факторами роста и развития культурных растений. Кроме того, внедрение цифровых решений невозможно без понимания системы критических технологий, обеспечивающих связность различных междисциплинарных отраслей (цифровые технологии, машиностроение, биотехнологии и др.).

Анализ современных исследований проблем рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий [1-10], выявил ряд системных противоречий, определяющих проблему исследования (таблица 1).

Таблица 1 – Системные противоречия, определяющих проблему исследования (составлено авторами)
Table 1 – Systemic contradictions defining the research problem (compiled by the authors)

Противоречие / Contradiction	Сущность проблемы / The essence of the problem
1 Технологическое / 1 Technological	низкая адаптация цифровых технологических решений к условиям рискованного земледелия / Low adaptation of digital technological solutions to the conditions of risky farming
2 Экономическое / 2 Economic	высокая стоимость внедрения технологий и необходимость снижения себестоимости продуктов переработки растительного сырья / high cost of implementing technologies and the need to reduce the cost of processing plant-based raw materials
3 Информационное / 3 Informational	избыток данных, получаемых от почвенных датчиков и полевых сенсоров в условиях недостатка цифровых инструментов для их интерпретации и принятия агротехнологических решений / the excess of data obtained from soil sensors and field sensors, coupled with a lack of digital tools for interpreting this data and making agricultural technological decisions
4 Кадровое / 4 Personnel	дефицит квалифицированных специалистов по цифровым технологиям и искусственному интеллекту в сельской местности / the shortage of qualified specialists in digital technologies and artificial intelligence in rural areas
5 Инфраструктурное / 5 Infrastructural	потребность в постоянной беспроводной связи для передачи данных с IoT-устройств в условиях недостаточного покрытия сетей в сельских районах / the need for constant wireless connectivity to transmit data from IoT devices in areas with insufficient network coverage in rural regions

Рациональное использование агробиоценозов предполагает поддержание баланса между продуктивностью сельскохозяйственных культур и экологической устойчивостью агробиосистемы. Однако на практике достижение этого баланса осложняется комплексом

взаимосвязанных проблем, которые могут быть систематизированы и проанализированы методами мета-анализа. Классификация проблем рационального использования агробиоценозов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация проблем рационального использования агробиоценозов (составлено авторами)
Table 2 – Classification of problems of rational use of agricultural biocenoses (compiled by the authors)

Категория проблем / Problem category	Конкретные проявления / Specific manifestations	Влияние на устойчивость / Impact on sustainability
1 Абиотические / 1 Abiotic	Деградация почв, водный стресс, эрозия, засоление / Soil degradation, water stress, erosion, salinization	Снижение продуктивности на 20-40 % / Reduced productivity by 20-40 %
2 Биотические / 2 Biotic	Вспышки вредителей, болезни, инвазивные виды / Pest outbreaks, diseases, invasive species	Потери урожая до 30-50 % / Crop losses of up to 30-50 %
3 Технологические / 3 Technological	Неоптимизированное внесение ресурсов, уплотнение почвы / Unoptimized resource application, soil compaction	Рост себестоимости, экологический ущерб / Rising production costs, environmental damage
4 Информационные / 4 Informational	Недостаток данных для принятия решений, запаздывание мониторинга роста и развития / Lack of data for decision-making, delayed monitoring of growth and development	Неэффективное управление, упущенные возможности / Inefficient management, missed opportunities
5 Социально-экономические / 5 Socio-economic	Дефицит кадров, низкая инвестиционная привлекательность / Skills shortage, low investment attractiveness	Замедление внедрения инноваций / Slowed adoption of innovations

Обзор межотраслевых технологических решений для рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий. Проведенный патентно-информационный поиск позволил выявить наиболее релевантные, технические и технологические подходы к рациональному использованию агробиоценозов, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Технико-технологические решения, защищающие подход к рациональному использованию агробиоценоза (составлено авторами)
Table 3 – Technical and technological solutions protecting the approach to the rational use of agricultural biocenosis (compiled by the authors)

№ РИД	Авторы / Authors	Технико-технологический подход / Technical and technological approach
1	2	3
RU2818807	Макмэхон Райан и др., 2024 г. / McMahon Ryan et al., 2024.	Компьютеризированный способ и система для применения сельскохозяйственного орудия (Патент № 2818807 C1 Российская Федерация, МПК A01B 69/04, A01B 79/00. Компьютеризированный способ и система для применения сельскохозяйственного орудия: № 2022127666: заявл. 30.04.2021: опубл. 06.05.2024 / Р. Макмэхон, Д. Шун, М. Моллер, М. Бэйкер; заявитель КИНЗ МЭНЬЮФЭКЧУРИНГ, ИНК.) / A computerized method and system for the use of agricultural implements (Patent No. 2818807 C1 Russian Federation)
RU2722069, 2020 г.	Андерсон Ноэль У. и др. / Anderson Noel W. et al.	Планирование заданий и траекторий с использованием изображений повреждений сельскохозяйственных культур (Патент № 2722069 C2 Российская Федерация, МПК A01D 45/00, G06F 17/00. Планирование заданий и траекторий с использованием изображений повреждений сельскохозяйственных культур от ветра: № 2016132604: заявл. 09.08.2016: опубл. 26.05.2020 / Н. У. Андерсон; заявитель ДИР ЭНД КОМПАНИ.) / Planning tasks and trajectories using images of crop damage (Patent No. 2722069 C2, Russian Federation)

Окончание таблицы 3

1	2	3
RU2735151, 2020 г.	Кипе Бьёрн и др. / Kipe Björn et al.	Распознавание сорняков в естественной среде (Патент № 2735151 C2 Российская Федерация, МПК G06K 9/00, G06T 7/11. Распознавание сорняков в естественной среде: № 2018143339: заявл. 05.05.2017: опубл. 28.10.2020 / Б. Кипе, Т. Шиллинг, А. Гладбах [и др.]; заявитель БАСФ СЕ.) / Weed recognition in a natural environment (Patent No. 2735151 C2, Russian Federation)
RU2426300, 2021 г.	Ван Дюн Корнелис Мария Петрус / Van Dun Cornelis, Maria Petrus	Способ скрининга для отбора растений, обнаруживающих пониженное нарушение окраски поверхности, вызываемое повреждением (Патент № 2426300 C2 Российская Федерация, МПК A01G 7/00. Способ скрининга для отбора растений, обнаруживающих пониженное нарушение окраски поверхности, вызываемое повреждением: № 2008132323/21: заявл. 08.01.2007: опубл. 20.08.2011 / К. М. П. Ван Дюн; заявитель Рейк Зван Задтелт Эн Задхандел Б. В.) / Screening method for selecting plants that exhibit reduced surface color disturbance caused by damage (Patent No. 2426300 C2, Russian Federation)
RU2830298, 2024 г.	Васильев С. А. и др. / Vasiliev S. A. et al.	Способ мониторинга агрофизических показателей плодородия на основе трехмерной цифровой модели поверхности почвы (Патент № 2830298 C1 Российская Федерация, МПК G01N 33/24, A01G 7/00. Способ мониторинга агрофизических показателей плодородия почвы в полевых условиях: № 2023135679: заявл. 28.12.2023: опубл. 18.11.2024 / С. А. Васильев, С. Е. Лимонов, С. А. Мишин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова".). / A method for monitoring agrophysical indicators of soil fertility based on a three – dimensional digital model of the soil surface (Patent No. 2830298 C1, Russian Federation)
RU2822743, G06F17/40, 2024 г.	Нечаев А. и др. / Nechaev A. et al.	Управление возделыванием зерновых культур с использованием ЦТ (Патент № 2822743 C2 Российская Федерация, МПК G06F 17/40, G06F 17/16, G06Q 50/02. Способ прогнозированного управления возделыванием зерновых культур: № 2022130423: заявл. 23.11.2022: опубл. 12.07.2024 / А. И. Нечаев, В. В. Альт; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.) / Management of grain crop cultivation using CT (Patent No. 2822743 C2, Russian Federation)
2758768, G06Q10/06, 2021 г.	Огнивцев С. И. / Ognivtsev S. I.	Управление продукционными процессами с экспертными системами Э = {Э1, … ЭТ-1}, содержащими пополняемые и модифицируемые базы знаний каждого из этапов (Патент № 2758768 C1 Российская Федерация, МПК G06Q 10/06, G06Q 50/02, A01C 7/00. способ управления продукционными и технологическими процессами выращивания сельскохозяйственных культур : № 2020140802: заявл. 10.12.2020: опубл. 01.11.2021 / С. Б. Огнивцев.) / Management of production processes using expert systems E = {E1, …, ET-1}, which contain replenishable and modifiable knowledge bases for each stage (Patent No. 2758768 C1, Russian Federation)

Характерно, что наряду с созданием программно-аппаратных комплексов для реализации алгоритмов цифровых технологий в сельском хозяйстве, появляются и патентуемые технико-технологические решения, использующие методы интеллектуального управления и машинного обучения (таблица 4).

Обзор межотраслевых технико-технологических решений для рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий подтверждает гипотезу о том, что цифровые технологии являются основным инструментом адаптации агробиоценозов к условиям рискованного земледелия. Механизм положительного воздействия заключается в переходе от реактивного управления (ликвидация последствий стресса) к проактивному, базирующемуся на применении методов предиктивной аналитики.

Таблица 4 – Технико-технологические решения, защищающие применение цифровых интеллектуальных технологий для повышения продуктивности агробиоценозов (составлено авторами по материалам [11])
Table 4 – Technical and technological solutions protecting the use of digital intelligent technologies to increase the productivity of agricultural biocenoses (compiled by the authors based on materials [11])

№ РИД	Авторы / Authors	Технико-технологический подход / Technical and technological approach
RU2723189, 2019 г.	Никитин А. и др. / Nikitin A. et al.	Подбор оптимальных параметров выращивания растений методами машинного обучения (Патент № 2723189 C1 Российская Федерация, МПК A01G 7/00, G06N 5/00, G06N 20/00. Способ автоматического подбора оптимальных параметров выращивания растений на основе методов машинного обучения: № 2019119348: заявл. 21.06.2019: опубл. 09.06.2020 / А. А. Никитин, Д. Г. Шадрин, И. А. Фастовец [и др.]; заявитель Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования "Сколковский институт науки и технологий") / Selection of optimal parameters for plant cultivation using machine learning methods (Patent No. 2723189 C1, Russian Federation)
RU2688234, 2019 г.	Сюй Цзисян / Xu Jixiang	Интеллектуальное управление выращиванием культурных растений, предусматривающее стадию сбора данных, классификации-маркировки и стадию регулирования (Патент № 2688234 C1 Российская Федерация, МПК G06Q 10/06. Способ интеллектуального управления выращиванием и интеллектуальное устройство для выращивания: № 2017145656: заявл. 23.05.2016: опубл. 21.05.2019 / Ц. Сюй.) / Intelligent management of crop cultivation, which includes a data collection stage, classification and labeling stage, and a regulation stage (Patent No. 2688234 C1, Russian Federation)
RU2724075, 2020 г.	Лаврентьев А. и др. / Lavrentyev A. et al.	Система и способ определения источника аномалии в кибер-физической системе, обладающей определенными характеристиками (Патент № 2724075 C1 Российская Федерация, МПК G06F 21/50, G06N 20/00. Система и способ определения источника аномалии в кибер-физической системе, обладающей определенными характеристиками: № 2018147248: заявл. 28.12.2018: опубл. 19.06.2020 / А. Б. Лаврентьев, А. М. Воронцов, П. В. Филонов [и др.]; заявитель Акционерное общество "Лаборатория Касперского".) / The system and method for determining the source of an anomaly in a cyber-physical system with specific characteristics (Patent No. 2724075 C1, Russian Federation)

В отличие от традиционных подходов, ориентированных на мониторинг усредненных показателей по полю, цифровые интеллектуальные системы позволяют учитывать внутрипольную вариабельность (различия агрохимических показателей – содержание азота, фосфора, калия, уровень кислотности; неоднородность свойств почвы и др.), что является критически важным для рискованного земледелия, где микрорельеф и пестрость почвенного покрова могут определять выживаемость растений в засушливые периоды.

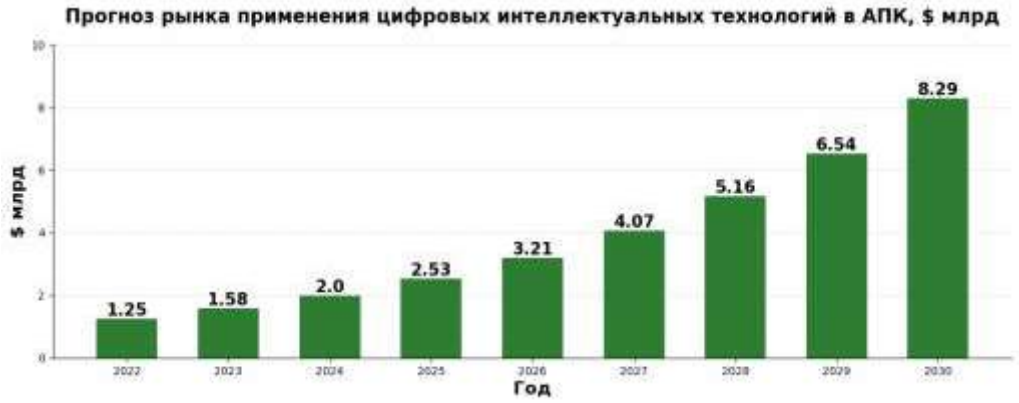


Рисунок 1 – Прогноз рынка применения цифровых интеллектуальных технологий в АПК (составлено авторами по материалам [11, 12]
Figure 1 – Forecast of the market for the use of digital intelligent technologies in agriculture (compiled by the authors based on materials [11, 12]

Сфера применения цифровых инновационных технологий, включая методы искусственного интеллекта, в сельском хозяйстве постоянно растет. Глобальный рынок ИИ в сельском хозяйстве в 2022 году составлял $1,25 млрд, а к 2030-му его размер прогнозируется в 8,29 млрд (рисунок 1). На рисунке 2 представлена иерархическая классификация инновационных цифровых технологий, применяемых в отечественном агропромышленном комплексе, демонстрирующая четыре основных направления цифровизации отрасли (умное растениеводство и животноводство, точное земледелие, интеллектуальные системы управления производством), каждое из которых включает комплекс специализированных технологических решений.

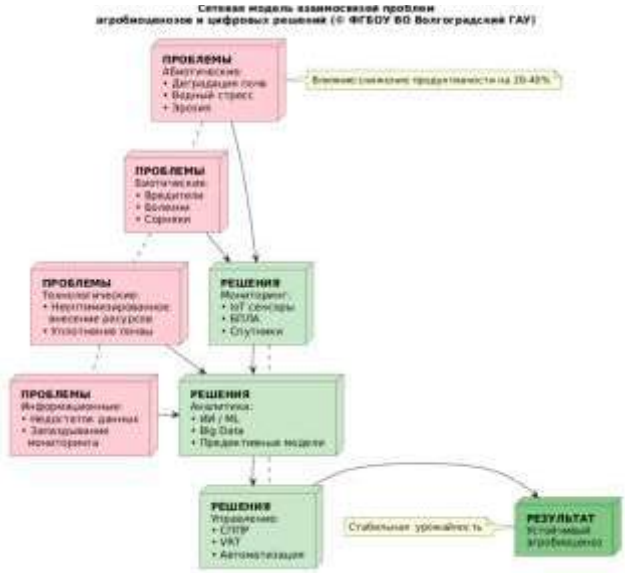


Рисунок 2 – Сетевая модель взаимосвязей проблем управления агробиоценозом и цифровые решения (составлено авторами)
Figure 2 – Network model of interrelationships of agricultural biocenosis management problems and digital solutions (compiled by the authors)

Иерархия основных технологических решений иллюстрирует комплексный подход к цифровизации аграрного сектора, где каждое направление взаимосвязано и способствует повышению эффективности, устойчивости и ресурсосбережения в условиях рискованного земледелия. Внедрение представленных технологий позволяет перейти от традиционных методов хозяйствования к управлению на основе эмпирических данных (Data-Driven Agriculture), что особенно актуально для зон с нестабильными природно-климатическими условиями (рисунок 3).

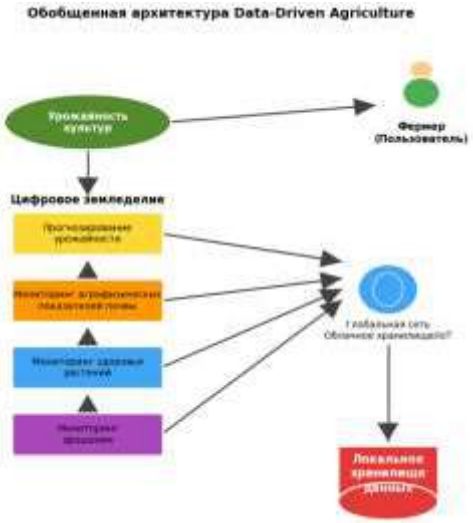


Рисунок 3 – Архитектура управления фермерским хозяйством на основе эмпирических данных (составлено авторами)
Figure 3 – Architecture of farm management based on empirical data (compiled by the author)

Проведенный анализ позволил классифицировать критические технологии по уровням влияния на агробиоценоз и определить ключевые межотраслевые связи, необходимые для обеспечения технологического суверенитета агробиосистем и их рационального использования. На рисунке 4 представлена многоуровневая архитектура системы цифрового земледелия («digital-farming)», демонстрирующая взаимосвязи между компонентами мониторинга, анализа данных и принятия решений в агропромышленном комплексе.

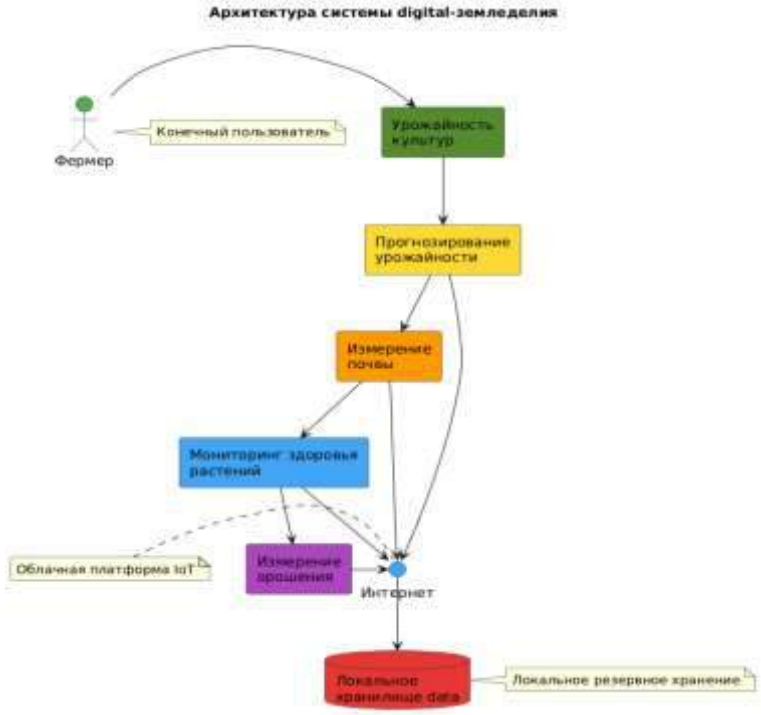


Рисунок 4 – Обобщенная архитектура системы цифрового (digital) – земледелия (составлено авторами)
Figure 4 – Generalized architecture of the digital farming system (compiled by the authors)

Представленная архитектура реализует принципы Industry 4.0 в сельском хозяйстве, обеспечивая:

- интеграцию разнородных данных от множественных источников;
- двустороннюю связь между физическими объектами (поля, техника) и цифровыми сервисами;
- резервирование через локальное хранение данных;
- адаптивность к условиям рискованного земледелия через оперативный мониторинг факторов роста и развития агробиоценозов и прогнозирование урожайности.

Данная архитектура соответствует международным стандартам цифровизации АПК и может быть масштабирована для хозяйств различной производственной мощности.

Мета-анализ критических технологий в комплексе межотраслевых технико-технологических решений при возделывании сельскохозяйственных культур. Мета-анализ, как и систематический обзор, является элементом научной методологии. При его проведении интегрируются результаты различных исследований с целью выявления или проверки нескольких гипотез, для чего можно использовать опубликованные результаты, а также для выявления общих закономерностей. Результаты проведенного мета-анализа и экспертно-аналитической оценки позволили сформировать систему критических технологий, необходимых для рационального использования агробиоценозов в условиях рискованного земледелия для получения экологически чистых продуктов переработки растительного сырья. Под «критическими технологиями» понимаются технологии, отсутствие или недоступность которых делает невозможным достижение целевых показателей устойчивости и продуктивности (таблица 5).

Таблица 5 – Критические технологии, формирующие комплекс межотраслевых технико-технологических решений в растениеводстве (составлено авторами)
Table 5 – Critical technologies forming a complex of intersectoral technical and technological solutions in crop production (compiled by the authors)

Критические элементы технологии / Critical elements of technology	Межотраслевая связь / Intersectoral relationship	Значимость / Significance
Технологии сбора и передачи данных / Data collection and transmission technologies		
Датчики почвы (влажность, температура и др.) с автономным питанием, сети низкого энергопотребления (LoRaWAN, NB-IoT), спутниковые снимки высокого разрешения / Soil sensors (moisture, temperature, etc.) with autonomous power supply, low-power networks (LoRaWAN, NB-IoT), high-resolution satellite images	Телекоммуникации/ Приборостроение/ Агрономия / Telecommunications / Instrument engineering / Agronomy	Адаптация к быстро меняющимся природно-климатическим условиям зон рискованного земледелия в режиме, приближенном к реальному времени / Adaptation to rapidly changing natural and climatic conditions in risk-prone farming zones in real time
Технологии аналитики и принятия решений / Analytics and decision-making technologies		
Алгоритмы машинного обучения для прогнозирования урожайности, модели цифровых двойников агробиосистем, системы раннего предупреждения о болезнях / Machine learning algorithms for yield prediction, digital twin models of agrobiosystems, early disease warning systems	Математическое моделирование/ Биоинформатика / Mathematical modeling / Bioinformatics	Трансформация данных в управленческие решения с минимизацией человеческого фактор и ошибок прогнозирования / Transformation of data into management decisions with minimization of human error and forecasting mistakes
Технологии исполнительных механизмов / Technologies of actuators		
Автономные тракторы и роботизированные платформы, системы дифференцированного внесения, умные оросительные системы / Autonomous tractors and robotic platforms, variable-rate application systems, smart irrigation systems	Машиностроение/ Робототехника/ Агроинженерия / Mechanical engineering / Robotics / Agricultural engineering	Обеспечение точности выполнения операций, снижение технологических потерь и уплотнения почвы / Ensuring the accuracy of operations, reducing technological losses and soil compaction
Технологии биотехнологической интеграции / Biotechnological integration technologies		
Генетический мониторинг сортов, анализ микробиома почвы, цифровые карты фитосанитарных рисков / Genetic monitoring of varieties, soil microbiome analysis, digital maps of phytosanitary risks	Генетика/Экология/ Цифровые технологии / Genetics/ Ecology/Digital technologies	Обеспечение рационального использования агробиоценоза с долгосрочным сохранением плодородия / Ensuring the rational use of agricultural biocenosis with long-term preservation of fertility

Для условий рискованного земледелия приоритетность технологий смещается в сторону адаптивности. На рисунке 5 представлена матрица критичности, где максимальный вес присвоен технологиям мониторинга водного стресса и прогнозирования погодных аномалий.

Анализ критических технологий, формирующих комплекс межотраслевых технологических решений в растениеводстве выявил, что основным барьером является не отсутствие отдельных технологий, а разрыв в межотраслевой интеграции. В частности, данные, получаемые с датчиков влажности и температуры почвы, часто несовместимы с системами управления техникой (автономные тракторы, роботизированные платформы и манипуляторы [13-18], системы дифференцированного внесения, умные оросительные системы и др.) из-за отсутствия единых протоколов обмена данными.

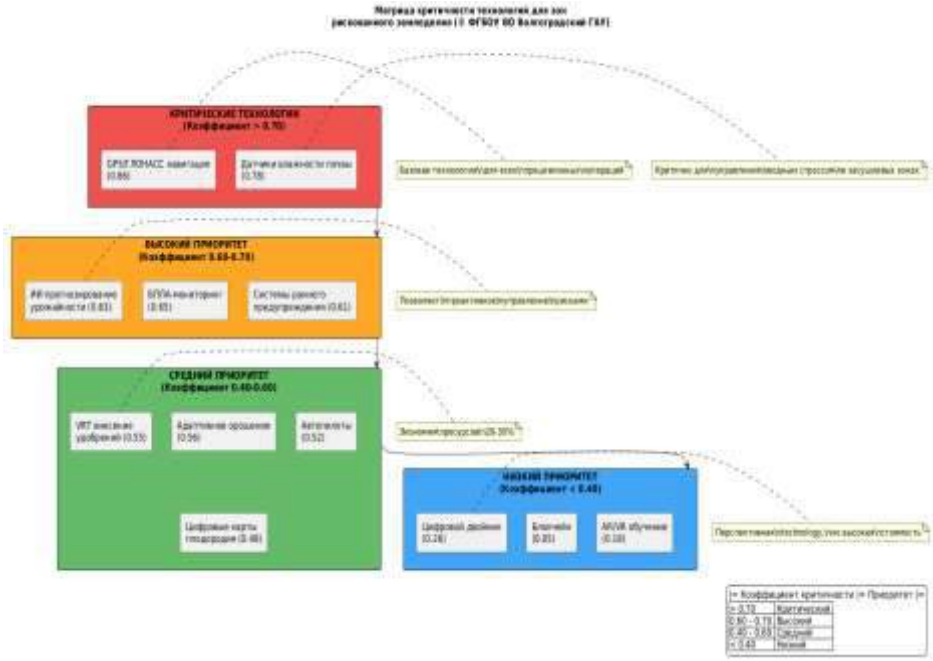


Рисунок 5 – Матрица критичности технологий для зон рискованного земледелия (составлено авторами)
Figure 5 – Technology criticality matrix for risky farming zones (compiled by the authors)

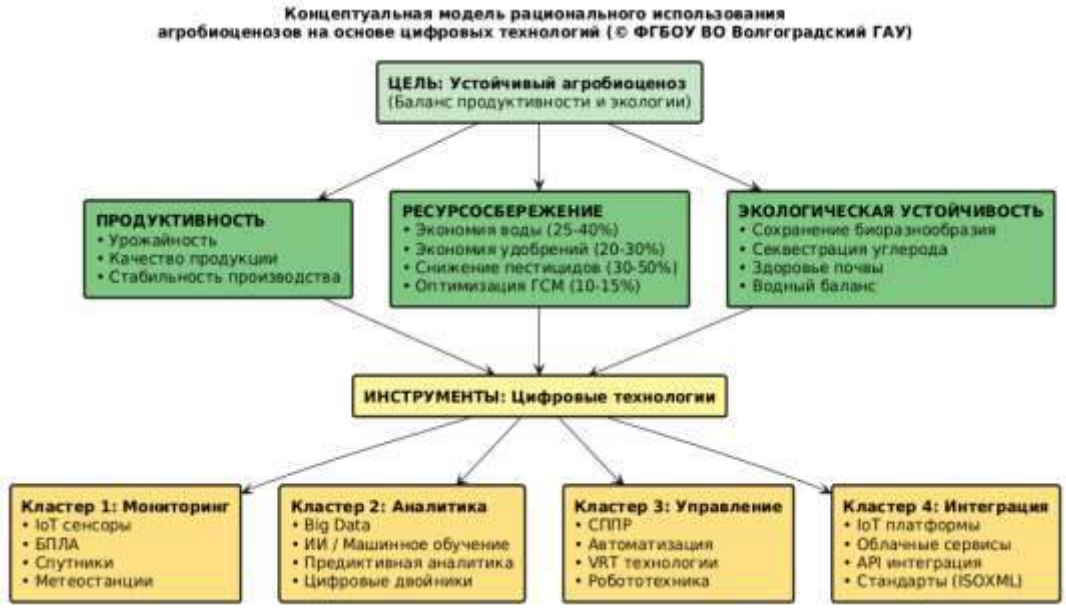


Рисунок 6 – Концептуальная модель рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий (составлено авторами)
Figure 6 – Conceptual model of the rational use of agricultural biocenoses based on innovative digital technologies (compiled by the authors)

Кроме того, выявлена зависимость от импортных компонентов в сегменте высокоточных сенсоров и программного обеспечения для систем агроаналитики, что создает риски технологического суверенитета в условиях санкционного давления. Разработка отечественных решений требует консолидации усилий аграриев, ИТ-компаний и научно-исследовательских институтов для создания единой цифровой экосистемы рационального использования агробиоценоза в условиях рискованного земледелия для получения экологически чистых продуктов переработки растительного сырья.

Заключение. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что цифровые инновационные технологии являются ключевым инструментом адаптации рационального использования агробиоценозов к условиям рискованного земледелия. Механизм положительного воздействия заключается в переходе от реактивного управления (ликвидация последствий стресса) к проактивному, базирующемуся на методах предиктивной аналитики.

В отличие от традиционных подходов, ориентированных на усредненные показатели по полю, цифровые системы позволяют учитывать внутрипольную вариабельность. Это критически важно для рискованного земледелия, где микрорельеф и пестрость почвенного покрова могут определять выживаемость растений в засушливые периоды. Выявленная система критических технологий демонстрирует, что наибольший эффект достигается при комплексном внедрении решений, базирующихся на инновационных цифровых технологиях, позволяющих сформировать комплекс межотраслевых технико-технологических решений в растениеводстве, а не фрагментарном использовании отдельных инструментов.

Проведённое исследование позволило сформулировать научную концепцию для комплексного системного внедрения цифровых инновационных технологий рационального использования агробиоценозов в условиях рискованного земледелия.

Conclusion. The results obtained confirm the hypothesis that digital innovative technologies are a key tool for adapting the rational use of agricultural biocenoses to the conditions of risky farming. The mechanism of positive impact lies in the transition from reactive management (eliminating the consequences of stress) to proactive management based on predictive analytics methods. Unlike traditional approaches, which focus on average field indicators, digital systems make it possible to take into account intra-field variability. This is critically important for risky farming, where the microrelief and heterogeneity of the soil cover can determine the survival of plants during dry periods. The identified system of critical technologies demonstrates that the greatest effect is achieved through the comprehensive implementation of solutions based on innovative digital technologies, which make it possible to form a set of intersectoral technical and technological solutions in crop production, rather than through the fragmented use of individual tools. The study made it possible to formulate a scientific concept for the comprehensive, systematic implementation of digital innovative technologies for the rational use of agricultural biocenoses in the conditions of risky farming.

Библиографический список

1.Ториков В. Е. и др. Состояние цифровой трансформации сельского хозяйства. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 9. С. 6-13.
2. Oliveira L. F. P., Moreira A. P., Silva M. F. Advances in Agriculture Robotics: A State-of-the-Art Review and Challenges Ahead. Robotics. 2021. No 10.
3. Гостев А. В., Пыхтин А. И., Любицкий Н. И. Программное обеспечение рационального выбора адаптивных технологий возделывания зерновых культур как элемент цифровизации земледелия. Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. Т. 23. № 6. С. 189-209.
4. Шевченко А. В., Мигачев А. Н. Обзор состояния мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и их применения в сельском хозяйстве. Робототехника и техническая кибернетика. 2019. Т. 7. № 3. С. 183-195.
5. Гулянов Ю. А., Чибилев А. А. Перспективы интеграции «цифрового землепользования» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны. Проблемы региональной экологии. 2019. № 2. С. 32-37.
6. Sasykov A. E. Применение элементов цифровых технологий в сельскохозяйственном производстве. Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary. 2020. № 4 (107). С. 39-50.
7. Дубл. Ссылка 1.
8. Соловьев Д. А. и др. Цифровые технологии и интеллектуальные системы управления оросительным комплексом с учетом фактических влагозапасов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 368-379.
9. Завалин А. А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия. Земледелие. 2024. № 2. С. 25-29.
10. Гриц Н. В., Ростовцев Р. А., Диченский А. В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах. Аграрная наука. 2023. Т. 1. № 10. С. 88-94.
11. Рогачев А. Ф., Токарев К. Е. Мета-анализ цифровых технологий и методов ии для повышения продуктивности орошаемых агрофитоценозов в условиях засушливого климата. Journal of Agriculture and Environment. 2025. № 11 (63). https://jae.cifra.science/archive/11-63-2025-november/10.60797/JAE.2025.63.12
12. Волкова Е. Д. и др. Передовые интеллектуальные решения в сельском хозяйстве: экспертно-аналитический доклад. Санкт-Петербург, 2023. 69 с.
13. Воробьева Н. С., Жога В. В., Несмиянов И. А. Отслеживание приводами манипулятора параллельно-последовательной структуры программных перемещений рабочего органа. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2019. № 2. С. 154-165.
14. Vorob'eva N. S., Nesmiyanov I. A., Zhoga V. V. Program Displacement Tracing of Executive Devices by the Manipulator Drives of Parallel-Sequential Structures. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2019. Vol. 58. No 2. Pp. 305-316.

15. Nesmiyanov I. A. et al. Synthesis of control algorithm and computer simulation of robotic manipulator-tripod. Communications in Computer and Information Science 2015. Vol. 535. Pp. 391-403.

16. Воробьева Н. С., Жога В. В., Жога Л. В. Динамический синтез алгоритмов управления манипулятором параллельно-последовательной структуры. Мехатроника, автоматизация, управление. 2020. Т. 21. № 12. С. 706-715.

17. Dyashkin-Titov V. V. et al. Dynamics of the Manipulator Parallel-Serial Structure. Advances in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Advances in Mechanical Engineering. 2018. Pp. 33-43.

18. Несмиянов И. А. и др. Система управления манипулятора сельскохозяйственного робота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3 (35). С. 226-231.

References

1. Torikov V. E. et al. The State of Digital Transformation in Agriculture. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2020. No 9. Pp. 6-13.

2. Oliveira L. F. P., Moreira A. P., Silva M. F. Advances in Agriculture Robotics: A State-of-the-Art Review and Challenges Ahead. Robotics. 2021. No 10.

3. Gostev A. V., Pykhtin A. I., Lyubitsky N. I. Software support for the rational selection of adaptive technologies for growing grain crops as an element of digitalization of agriculture. Proceedings of the Southwest State University. 2020. Vol. 23. No 6. Pp. 189-209.

4. Shevchenko A. V., Migachev A. N. Overview of the state of the global market for unmanned aerial vehicles and their application in agriculture. Robotics and Technical Cybernetics. 2019. Vol. 7. No 3. Pp. 183-195.

5. Gulyanov Yu. A., Chibilev A. A. Prospects for Integrating “Digital Land Use” into Landscape-Adaptive Agriculture in the Steppe Zone. Problems of Regional Ecology. 2019. No 2. Pp. 32-37.

6. Sasykov A. E. The use of digital technology elements in agricultural production. Herald of science of S. Seifullin Kazakh agrotechnical university: Multidisciplinary. 2020. No. 4 (107). Pp. 39-50.

7. Torikov V. E. et al. The State of Digital Transformation in Agriculture. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2020. No 9. Pp. 6-13.

8. Solovyov D. A. et al. Digital Technologies and Intelligent Management Systems for Irrigation Complexes Based on Actual Moisture Reserves. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No 1 (61). Pp. 368-379.

9. Zavalin A. A. Problems and ways to solve them in the technological development of agriculture. Agriculture. 2024. No 2. Pp. 25-29.

10. Grits N. V., Rostovtsev R. A., Dichensky A. V. Using elements of precision agriculture to obtain climate-based crop yields in specialized crop rotations. Agrarian Science. 2023. Vol. 1. No 10. Pp. 88-94.

11. Rogachev A. F., Tokarev K. E. Meta-analysis of digital technologies and AI methods to increase the productivity of irrigated agrophytocenoses in arid climates. Journal of Agriculture and Environment. 2025. No 11 (63). https://jae.cifra.science/archive/11-63-2025-november/10.60797/JAE.2025.63.12

12. Volkova E. D. et al. Advanced Intelligent Solutions in Agriculture: Expert and Analytical Report. Saint Petersburg, 2023. 69 p.

13. Vorobyova N. S., Zhoga V. V., Nesmiyanov I. A. Tracking the parallel-serial structure of program movements of the working element by manipulator drives. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems. 2019. No. 2. Pp. 154-165.

14. Vorob'eva N. S., Nesmiyanov I. A., Zhoga V. V. Program Displacement Tracing of Executive Devices by the Manipulator Drives of Parallel-Sequential Structures. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2019. Vol. 58. No 2. Pp. 305-316.

15. Nesmiyanov I. A. et al. Synthesis of control algorithm and computer simulation of robotic manipulator-tripod. Communications in Computer and Information Science 2015. V. 535. Pp. 391-403.

16. Vorobyova N. S., Zhoga V. V., Zhoga L. V. Dynamic synthesis of control algorithms for a manipulator with a parallel-series structure. Mechatronics, Automation, Control. 2020. Vol. 21. No 12. Pp. 706-715.

17. Dyashkin-Titov V. V. et al. Dynamics of the Manipulator Parallel-Serial Structure. Advances in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Advances in Mechanical Engineering. 2018. Pp. 33-43.

18. Nesmiyanov I. A. et al. Control system for an agricultural robot manipulator. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2014. No 3 (35). Pp. 226-231.

Информация об авторах

Воробьева Наталья Сергеевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Токарев Кирилл Евгеньевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: tke.vgsha@mail.ru

Зиятдинов Рустем Раисович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (Российская Федерация, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18), e-mail: rust_z@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

Vorob’eva Natalia Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Tokarev Kirill Evgenievich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: tke.vgsha@mail.ru

Ziyatdinov Rustem Raisovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Kazan (Volga region) Federal University (Russian Federation, 420008, Kazan, Kremlevskaya Str., 18.), e-mail: rust_z@mail.ru

Ivanov Alexey Gennadievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: leha_2106@list.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-57

THE COMPREHENSIVE TECHNOLOGY FOR THE RESOURCE-SAVING PIG FARM WASTEWATER TREATMENT

Mescheryakov M. P., Grigorov S. M., Mescheryakova E. G., Dosova A. G.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: makc-sln@yandex.ru

Received 01.06.2026 Submitted 03.07.2026

Summary

This article addresses the pressing issue of transitioning from cumulative storage to active processing of highly concentrated wastewater from pig farms. The study focused on liquid manure flows (650 m³/day) at JSC Krasnodonskoye. The methodology is based on an analysis of initial data and a step-by-step engineering calculation of material and energy balances. A comprehensive resource-saving technology has been developed and validated. It is demonstrated that the implementation of this scheme ensures the utilization of the entire waste volume, generating renewable energy (equivalent to 3,120 kWh/day of electricity) and three types of standardized agricultural resources: ameliorant, liquid organic fertilizer, and industrial water. The required area of agricultural land (1,250 hectares) was calculated for their safe use. The technology represents a ready-made project solution for implementation at enterprises in the industry.

Abstract

Introduction. The intensive development of industrial pig farming in the Southern Federal District, represented by Krasnodonskoye JSC, is accompanied by the generation of significant volumes of highly concentrated wastewater and liquid manure. Pig-breeding wastewater (PBS) is characterized by extremely high concentrations of organic matter (BOD up to 15-30 g/L), ammonia nitrogen (1.5-3 g/L), phosphorus, and potassium, as well as elevated levels of pathogenic microflora and helminths. Traditional storage in storage lagoons leads to massive pollution of the atmosphere (ammonia, hydrogen sulfide, and methane emissions), soil, and groundwater, posing a complex environmental threat to densely populated agricultural regions. In the context of growing water and energy resource shortages, as well as rising mineral fertilizer prices, a transition from passive storage to active technological processing of SHS, extracting valuable components such as energy in the form of biogas and highly effective organic fertilizers, is becoming a pressing issue. The development and implementation of integrated technological solutions adapted to the scale and climatic conditions of South Russian pig farms is imperative to ensure the sustainable development of the industry. **The object of the study** is the technological flows of wastewater and liquid manure of the pig-breeding complex of JSC Krasnodonskoye. **Materials and methods.** Actual data on the quantitative and qualitative composition of wastewater from the Krasnodonskoye complex for 2022-2023, obtained through quarterly monitoring. Results of laboratory and industrial testing of process equipment: screw separators, flotation units, and systems for preparing and feeding substrate to digesters. Methods for calculating the material and energy balance of anaerobic digestion, based on the modified Bushawell equation and data on the specific methanogenic activity of the feedstock. **Results and conclusion.** Based on the analysis, it was established that the daily output of raw manure at the complex is 650 m³/day with a moisture content of 92 %. After mechanical separation in a screw separator with squeezing, 130 m³/day of a solid fraction (65 % moisture content) and 520 m³/day of a liquid fraction (97.5 % moisture content) are formed. Calculation of the parameters of the anaerobic digester in the mesophilic mode (38 ^{0}C) for the liquid fraction showed the following: the hydraulic retention period is 15 days, the estimated reactor volume is 7800 m³. The specific biogas yield is 0.45 m³/kg of removed COD, daily biogas production is 5200 m³/day, which is equivalent to 7800 kWh of heat or 3120 kWh of electrical energy. For biological post-treatment of the digested liquid fraction (BODtotal = 1200 mg/l, N-NH4 = 800 mg/l), a nitri-denitrification scheme in a mixer aeration tank was proposed. The calculated volume of the aeration tank was 4200 m^3, the specific air flow rate was 12 m^3/m^3 of wastewater. The concentration of return sludge was 6 g/l. The application rates for the processed products were determined: solid fraction (bedding material) – 40 t/ha once every 3 years; sludge after digestion (effect) – 35 m^3/ha per year; purified water for irrigation – 1500 m^3/ha during the growing season. The required area for safe disposal was 1250 hectares of the company's agricultural land.

Keywords: *pig farms wastewater, anaerobic fermentation, methane tank, biogas, raw manure processing, liquid manure processing technologies.*

Citation. Meshcheryakov M. P., Grigorov S. M., Meshcheryakova E. G., Dosova A. G. The comprehensive technology for the resource-saving pig farm wastewater treatment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 510-519 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-57.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 628.39:636.4

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Мещеряков М. П., *доктор технических наук, доцент*
Григоров С. М., *доктор технических наук, профессор*
Мещерякова Е. Г., *старший преподаватель*
Досова А. Г., *кандидат экономических наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Интенсивное развитие промышленного свиноводства в Южном федеральном округе, генеральным представителем которого является АО «Краснодонское», сопровождается образованием значительных объемов высококонцентрированных сточных вод и жидкого навоза. Характерной особенностью свиноводческих стоков (СВС) является экстремально высокая концентрация органических веществ ($БПК_{полн}$ до 15-30 г/л), аммонийного азота (1,5-3 г/л), фосфора, калия, а также повышенное содержание патогенной микрофлоры и гельминтов. Традиционное складирование в лагунах-накопителях приводит к массированному загрязнению атмосферы (выбросы аммиака, сероводорода, метана), почв и грунтовых вод, создавая комплексную экологическую угрозу для густонаселенных аграрных регионов. В условиях растущего дефицита водных и энергетических ресурсов, а также удорожания минеральных удобрений актуальной задачей становится переход от пассивного хранения к активной технологической переработке СВС с извлечением ценных компонентов: энергии в виде биогаза и высокоэффективных органических удобрений. Разработка и внедрение комплексных технологических решений, адаптированных к масштабам и климатическим условиям южнороссийских свиноводческих холдингов, является настоятельной необходимостью для обеспечения устойчивого развития отрасли. **Объект.** Объектом исследования являются технологические потоки сточных вод и жидкого навоза свиноводческого комплекса АО «Краснодонское». **Материалы и методы.** Фактические данные по количественному и качественному составу стоков комплекса «Краснодонское» за 2022-2023 гг., полученные в результате ежеквартального мониторинга. Результаты лабораторно-промышленных испытаний технологического оборудования: шнековых сепараторов, флотаторов, систем приготовления и подачи субстрата в метантенки. Методики расчета материального и энергетического баланса анаэробного сбраживания, основанные на модифицированном уравнении Бусвелла и данных по удельной метаногенной активности сырья. **Результаты и выводы.** На основании анализа установлено, что ежесуточный выход сырого навоза на комплексе составляет 650 $м^3$/сут с влажностью 92 %. После механического разделения на шнековом сепараторе с отжимом образуется 130 $м^3$/сут твердой фракции (влажность 65 %) и 520 $м^3$/сут жидкой фракции (влажность 97,5 %). Расчет параметров анаэробного метантенка мезофильного режима (38 °С) для жидкой фракции показал: период гидравлического удерживания – 15 суток, расчетный объем реактора – 7800 $м^3$. Удельный выход биогаза – 0.45 $м^3$/кг удаленного ХПК, суточное производство биогаза – 5200 $м^3$/сут, что эквивалентно 7800 *кВтч* тепловой или 3120 *кВтч* электрической энергии. Для биологической доочистки сброженной жидкой фракции ($БПК_{полн}$ = 1200 мг/л, $N\text{-}NH_4$ = 800 мг/л) предложена схема нитри-денитрификации в аэротенке-смесителе. Расчетный объем аэротенка составил 4200 $м^3$, удельный расход воздуха – 12 $м^3/м^3$ стоков. Концентрация возвратного ила – 6 г/л. Определены нормы внесения продуктов переработки: твердая фракция (подстилочный материал) – 40 т/га раз в 3 года; осадок после сбраживания (эффект) – 35 $м^3$/га в год; очищенная вода для орошения – 1500 $м^3$/га за вегетационный период. Потребная площадь для безопасной утилизации составила 1250 га сельхозугодий компании.

Ключевые слова: *сточные воды свиноводческих предприятий, анаэробное сбраживание, метантенк, биогаз, переработка сырого навоза, технологии переработки жидкого навоза.*

Цитирование. Мещеряков М. П., Григоров С. М., Мещерякова Е. Г., Досова А. Г. Комплексная технология ресурсосберегающей переработки сточных вод свиноводческого комплекса. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 510-519. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-57.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Рост объемов промышленного производства, в том числе в перерабатывающем секторе АПК, закономерно ведет к увеличению нагрузки на локальные и централизованные системы водоотведения [1, 2]. Сточные воды таких предприятий характеризуются сложным, нестабильным составом, зачастую содержат агрессивные компоненты, препятствующие эффективной работе биологических очистных сооружений [3, 4].

Вопросы обеспечения экологической безопасности водных объектов в регионах с развитым агропромышленным и промышленным комплексом, каковым является Нижнее Поволжье, носят первостепенный характер [5, 6, 7]. Локальные очистные сооружения предприятий зачастую становятся критически важным барьером, предотвращающим поступление высококонцентрированных и токсичных стоков в муниципальные сети или напрямую в водные приемники [6, 8, 9]. Традиционные биологические методы в таких случаях малоэффективны без адекватной физико-химической подготовки. Опыт проектирования и эксплуатации систем мелиорации и водного хозяйства однозначно указывает на необходимость применения методов, основанных на химическом взаимодействии и физическом отделении загрязнений [10, 11]. Промышленное свиноводство является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов агропромышленного комплекса юга России [11, 12]. Однако экологическая составляющая его развития зачастую отстает от производственной. Накопительный принцип обращения со стоками, практикуемый на многих предприятиях, не соответствует ни современным экологическим требованиям, ни экономическим интересам бизнеса в условиях циркулярной экономики. Переход к технологиям глубокой переработки отходов жизнедеятельности животных становится императивом [6, 13, 14]. Такие технологии должны обеспечивать: минимизацию эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду; производство возобновляемой энергии; получение безопасных и транспортабельных органических удобрений; возможность интеграции в существующую инфраструктуру. Целью настоящей работы является разработка и технико-экономическое обоснование комплексной технологической схемы очистки и обработки свиноводческих сточных вод для условий крупного холдинга АО «Краснодонское», учитывающей региональные особенности и направленной на достижение ресурсной и экологической эффективности.

Материалы и методы. Объектом исследования являются технологические потоки сточных вод и жидкого навоза свиноводческого комплекса АО «Краснодонское». В качестве предмета исследования рассматривается комплексная технологическая схема очистки и обработки, включающая стадии механического разделения, анаэробного сбраживания, биологической доочистки и утилизации продуктов переработки.

Исходными данными послужили фактические эксплуатационные данные: структурные параметры (поголовье 108 тыс. единиц, система удаления навоза самотеком с применением гидросмыва) и средние за отчетный период физико-химические характеристики сырья, определенные лабораторией предприятия. К последним относятся: влажность 92 %, химическое потребление кислорода (ХПК) 55 г/л, полная биохимическая потребность в кислороде (БПКполн) 32 г/л, массовая концентрация общего азота 3,8 г/л, общего фосфора 1,2 г/л, величина водородного показателя (pH) 7,2. Учитывались также климатические особенности местности со среднегодовой температурой +9,5 ˚С, предопределяющие затраты на термостатирование биореакторов [11, 15, 16].

Методический подход включал последовательную реализацию нескольких этапов. Первоначально был проведен анализ существующей системы обращения с жидкими отходами. На основе его результатов сформирована принципиальная схема процесса, ключевыми звеньями которой определены стадии механического разделения, анаэробной ферментации и последующей биологической доочистки. Для каждого технологического узла выполнены детальные инженерные расчеты.

Результаты и обсуждение. Проектная производительность оборудования для механического разделения твердой и жидкой фаз была рассчитана на основе планируемого суточного объема переработки сырого субстрата. Исходя из общего количества поступающих стоков (650 м^3/сут) и установленного 20-часового рабочего цикла установки в течение суток, требуемая часовая производительность составила 32,5 м^3/ч. На основании полученного значения и специфики обрабатываемого материала в технологической схеме был предусмотрен шнековый сепаратор. Конструктивные параметры подобранной модели включают диаметр рабочего шнека 0,8 метра, а необходимая мощность привода составляет 15 кВт.

Определение требуемого объема реактора для анаэробного сбраживания основывалось на методе гидравлического удерживания субстрата. Исходным параметром послужил расчетный суточный поток жидкой фракции после механического обезвоживания, составляющий 520 м^3. Продолжительность процесса ферментации, необходимая для достижения стабильного разложения органических соединений и максимального выхода биогаза в мезофильном режиме, была принята равной 15 суткам. Следовательно, полезный объем метантенка составил 7800 м^3.

Для обеспечения технологической надежности и удобства эксплуатации данный объем было решено распределить на два идентичных резервуара. Конструктивно каждый из них запроектирован как вертикальный цилиндрический аппарат из монолитного железобетона с внутренним диаметром 18 метров и рабочей (полезной) глубиной 15,3 метра.

Параметры аэротенка для биологической доочистки вычислялись по модифицированной формуле, учитывающей кинетику удаления азота:

$$V_a = \frac{[Q \cdot (N_{исх} - N_{очищ})]}{[a \cdot \rho \cdot (1 - S)]} \quad (1)$$

где Q = 520 м³/сут. – расход стоков; $N_{исх}$ = 0,8 кг/м^3 и $N_{очищ}$ = 0,02 кг/м^3 – концентрации азота на входе и выходе; a = 2,5 г/л – доза активного ила; ρ = 0,05 кгN/(кг·сут.) – удельная скорость нитрификации; S = 0,3 – зольность ила.

Результат расчета показал необходимость сооружения аэротенка объемом приблизительно 4640 м^3. Завершающим этапом стала интегральная оценка ресурсного потенциала технологии, включающая прогноз выхода биогаза и агрохимическую характеристику получаемых продуктов утилизации.

Оценка существующих технических решений подтвердила эффективность применения сепараторов шнекового типа, оборудованных фильтрующими ситами с размером ячейки 0,75-1,0 мм. Использование данного класса оборудования обеспечивает выделение в твёрдый поток от 20 до 25 процентов сухих веществ от их общего содержания в исходном субстрате. Такое предварительное обезвоживание приводит к существенному снижению технологической нагрузки на последующие стадии переработки жидкой фазы: массовая доля органических соединений уменьшается на 25-30 %, а концентрация азота – примерно на 15 %. Получаемая твёрдая фракция, характеризующаяся влажностью на уровне 65 %, представляет собой готовый продукт для последующей переработки. Она может быть направлена на компостирование для получения стабильного органоминерального субстрата либо использована в системе земледелия хозяйства для прямого внесения в почву. В последнем случае данный материал выполняет двойную функцию: служит мелиорантом, улучшающим агрофизические свойства почвы (структуру, воздухо- и водопроницаемость), и выступает в качестве пролонгированного органического удобрения с постепенным высвобождением элементов питания.

Приведенные в таблице 1 средние значения ключевых физико-химических показателей сырого навозосодержащего стока служат фундаментальной исходной базой для всего последующего технологического проектирования и инженерного расчета. На этой основе выполняется не просто подбор типового оборудования, а синтез оптимальной технологической цепи, параметры каждого звена которой математически вытекают из этих исходных данных, обеспечивая как достижение нормативов очистки, так и ресурсную эффективность.

Таблица 1 – Средние физико-химические показатели сырого навозосодержащего стока
Table 1 – Average physical and chemical properties of raw manure-containing runoff

Наименование показателя / Indicator name	Обозначение / Symbol	Единица измерения / Unit of measurement	Значение / Value
Суточный объем / Daily volume	$Q_{сыр}$	м^3/сут / m^3/day	650
Влажность / Humidity	$W_{сыр}$	%	92
Плотность / Density	$\rho_{сыр}$	т/м^3 / t/m^3	1,01
ХПК / Chemical oxygen consumption	$ХПК_{сыр}$	г/л или кг/м^3 / g/l or kg/m^3	55
Общий азот ($N_{общ}$) / Total nitrogen (N_{total})	$N_{сыр}$	г/л или кг/м^3 / g/l or kg/m^3	3,8

Проектирование установки для механического обезвоживания требует выполнения комплекса взаимосвязанных инженерных расчётов. Эти расчёты направлены на определение ключевых эксплуатационных и конструктивных параметров, обеспечивающих заданную производительность и эффективность разделения исходной суспензии на твёрдую и жидкую фазы. Ниже, в формулах 2-9 приводится последовательность основных расчётных зависимостей, применение которых позволяет обоснованно выбрать тип и модель сепаратора, спрогнозировать выход и качество продуктов разделения, а также оценить их влияние на нагрузку следующих стадий технологической схемы.

Определение часовой производительности ($Q_{сеп}$) представляет собой первичный и обязательный этап технологического расчёта узла механического разделения сепарационного оборудования. Данный расчёт основывается на фундаментальном принципе соответствия пропускной способности оборудования объёмам поступающего сырья в рамках установленного технологического регламента.

$$Q_{\text{СЕП}} = \frac{Q_{\text{СЫР}}}{T_{\text{РАБ}}} \quad (2)$$

где $Q_{\text{СЫР}}$ – суточный объем перерабатываемого навозосодержащего стока, м^3/сут.; $T_{\text{РАБ}}$ – плановая продолжительность работы сепаратора в течение суток, час.

Выбор величины $T_{\text{РАБ}}$ (20 часов) обусловлен не только необходимостью обеспечения технологического цикла, но и требованиями к техническому обслуживанию, регламентным работам и потенциальной неравномерности подачи субстрата. Таким образом, полученное значение $Q_{\text{СЕП}}$ = 32,5 м^3/ч является расчётной нагрузкой, детерминирующей выбор типоразмера оборудования.

Эффективность извлечения сухого вещества (*СВ*) в твердую фракцию ($\text{К}_{\text{СВ}}$) принимается по паспортным данным оборудования в диапазоне 0,20-0,25. Расчет массы и объема продуктов сепарации определяли по формулам 3 и 4:

$$mCB_{\text{ТВ}} = mCB_{\text{СЫР}} \cdot \text{К}_{\text{СВ}} \quad (3)$$

$$V_{TB} = \frac{mCB_{\text{ТВ}}}{(p_{TB} \cdot (1 - \frac{W_{TB}}{100}))} \quad (4)$$

где p_{TB} – плотность твердой фракции (около 1,1 т/м^3); W_{TB} – влажность (65 %).

Принятый коэффициент извлечения сухого вещества $\text{К}_{\text{СВ}} = 0{,}23$, соответствует экспериментальным данным для шнековых сепараторов, работающих с субстратом подобной реологической характеристики. Исходя из расчетной массы сухого вещества в исходном потоке $mCB_{\text{СЫР}} = 50{,}96$ т/сут., массовый выход сухого компонента в выделенной твердой фракции $mCB_{\text{ТВ}} = 11{,}72$ т/сут. При заданной влажности твердой фракции в $W_{TB} = 65$ % и ее насыпной плотности $p_{TB} = 1{,}1$ т/ м^3, суточный объем этого продукта составит $V_{TB} = 30$ м^3/сут. Этот предварительно обезвоженный материал, характеризуясь стабильными физическими параметрами, становится уже пригодным для дальнейшего целенаправленного использования или глубокой переработки, что принципиально отличает его от исходных жидких стоков.

Эффективность процесса оценивается не только по степени обезвоживания, но и по снижению загрязнённости потока, направляемого на дальнейшую биологическую переработку. Для этого применяется балансовый метод.

Объем жидкой фракции ($V_{\text{ЖФ}}$) определяется по разности:

$$V_{\text{ЖФ}} = Q_{\text{СЫР}} \cdot V_{TB} \quad (5)$$

Снижение нагрузки по органике (по ХПК) и азоту в жидкой фракции после сепарации оценивается по формулам:

$$\Delta\text{ХПК} = \frac{(\text{ХПК}_{\text{СЫР}} \cdot Q_{\text{СЫР}} - \text{ХПК}_{\text{ТВ}} \cdot V_{TB})}{(\text{ХПК}_{\text{СЫР}} \cdot Q_{\text{СЫР}})} \cdot 100\ \% \quad (6)$$

$$\Delta N = \frac{(N_{\text{СЫР}} \cdot Q_{\text{СЫР}} - N_{\text{ТВ}} \cdot V_{TB})}{(N_{\text{СЫР}} \cdot Q_{\text{СЫР}})} \cdot 100\ \% \quad (7)$$

где $\text{ХПК}_{\text{ТВ}}$ и $N_{\text{ТВ}}$ – концентрация загрязнений в твердой фракции.

Полученные результаты в процентах показывают, какая часть загрязняющих веществ изъята из жидкого потока и, следовательно, не потребует окисления или удаления на последующих энергоёмких стадиях (аэробной очистки, денитрификации). Для выполнения данного расчёта необходимо располагать данными о концентрациях ХПК и общего азота как в исходном стоке, так и в твёрдой фракции ($\text{ХПК}_{\text{ТВ}}$ и $N_{\text{ТВ}}$).

Основной технологический поток после механического разделения, направляемый на стадию анаэробного сбраживания, закономерно уменьшается в объеме. Исходя из баланса, из первоначальных $Q_{\text{СЫР}} = 650$ м^3/сут на последующую переработку поступает порядка $V_{\text{ЖФ}} = 619{,}6$ м^3/сут. При проектировании с учетом неизбежных технологических потерь и для обеспечения стабильности работы последующих узлов, этот объем принят к расчету как $V_{\text{ЖФ}} = 520$ м^3/сут.

Качественное изменение этого потока имеет еще большее значение, чем количественное. Согласно лабораторным данным, в отведенной твердой фракции концентрируется значительная часть загрязняющих веществ. Анализ показывает, что вместе с ней из

технологической цепочки выводится приблизительно 27 % органических веществ, оцениваемых по химическому потреблению кислорода, и около 13-14 % общего азота. Это снижение исходной нагрузки носит принципиальный характер. За счет предварительного удаления части органики существенно уменьшается требуемый объем метантенков, так как интенсивность брожения и необходимый срок пребывания субстрата напрямую зависят от исходной концентрации. Кроме того, снижение азотной нагрузки на последующую биологическую доочистку позволяет оптимизировать режим работы аэротенков, в частности, сократить расход энергии на аэрацию в процессах нитрификации, что ведет к значительной экономии эксплуатационных затрат.

Таким образом, стадия механического обезвоживания выполняет не только подготовительную, но и важнейшую функцию нормализации состава стоков, что повышает эффективность и экономичность всей последующей технологической цепочки.

Представленная в таблица 2 информация показывает переход от технологических требований к конкретным конструктивным решениям. Она отражает последовательность инженерного расчета, где каждый последующий параметр детерминирован предыдущим.

Таблица 2 – Расчет параметров анаэробного сбраживания в метантенках
Table 2 – Calculation of anaerobic digestion parameters in methanetanks

Параметр / Parameter	Обозначение / Label	Единица измерения / Unit of measurement	Значение / Формула / Value / Formula
Объем жидкой фракции на сбраживание / Volume of liquid fraction for fermentation	$Q_{ЖФ}$	м^3/сут. / m^3/day	520
Время гидравлического удерживания / Hydraulic retention time	t	Сут. / day	15
Полезный объем метантенка / Useful volume of the methane tank	$V_{МЕТ}$	м^3 / m^3	$Q_{ЖФ} \cdot t$
Количество реакторов / Number of reactors	n	шт. / piece	2
Объем одного реактора / Volume of one reactor	V_1	м^3 / m^3	$V_{МЕТ}/n$
Диаметр реактора / Reactor diameter	D	м / m	18
Полезная высота реактора / Useful height of the reactor	$H_{ПОЛ}$	м / m	$V_1/(\pi \cdot D^2/4)$

Решение о применении двух параллельных реакторов соответствует требованиям эксплуатационной надежности и ремонтопригодности. Заданный диаметр (18 м) – это типовое проектное решение, обусловленное оптимизацией затрат на материалы и условия строительства. На его основе, через обратное применение формулы объема цилиндра, выводится окончательный конструктивный размер – полезная высота (≈15,3 м). Таким образом, таблица наглядно документирует весь путь от технологического регламента анаэробного сбраживания до геометрических характеристик железобетонных сооружений, обеспечивая полную прослеживаемость проектных решений и их технико-экономическую обоснованность.

Завершающим и наиболее ответственным технологическим звеном в предложенной схеме является стадия глубокой биологической доочистки, основным аппаратурным оформлением которой служит аэротенк. Инженерный расчёт, основанный на кинетике удаления азотных соединений, определил необходимый полезный объём этого сооружения в 4640 м^3. Однако ключевое значение имеет не столько общий объём, сколько внутренняя организация технологического процесса внутри него. Для обеспечения полного цикла трансформации азота, включающего как окисление аммония до нитратов, так и последующую денитрификацию, предлагается конструктивное и режимное зонирование аэротенка.

Аэробная зона выполняет две основные функции: окисление остаточной органики и нитрификацию. Для их реализации необходим интенсивный массообмен кислорода. Удельный расход воздуха, определённый на основании кислородного баланса с учётом высокой исходной концентрации аммонийного азота, составляет от 12 до 15 м^3 на каждый кубометр обрабатываемых сточных вод.

Таким образом, для обеспечения технологического режима аэротенка проектом предусматривается установка блока воздуходувок с суммарной производительностью не менее 6500-8000 м^3 воздуха в час. Подача воздуха будет осуществляться через систему

мелкопузырчатых аэраторов, что обеспечит высокий коэффициент использования кислорода и поддержание активного ила во взвешенном состоянии. Эффективность работы этого узла в конечном счете определяет не только достижение нормативных показателей по БПК и азоту, но и возможность безопасного использования очищенной воды в мелиоративных целях или её сброса в водные объекты.

Результаты технологического цикла, основанного на последовательном разделении и биологической переработке, позволяют получить не просто обезвреженные отходы, а стандартизированные продукты с определенной хозяйственной ценностью. Для наглядной систематизации данных по объемам, качественным показателям и рекомендуемым направлениям утилизации представлены в сводной таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика конечных продуктов технологической переработки свиноводческих стоков
Table 3 – Characteristics of the final products of technological processing of pig waste

Наименование продукта / Product name	Суточный выход / Daily yield	Основные агрохимические показатели / Main agrochemical indicators	Рекомендуемое направление использования и дозировка / Recommended use and dosage
1. Твердая фракция (после сепарации) / Solid fraction (after separation)	≈ 30 м^3	Влажность: 65 м %. Содержание в сухом веществе: органика – до 60 %, $N_{ОБЩ}$ – 0,65 %, P_2O_5 – 0,4 %, K_2O – 0,3 % / Moisture content: 65 %. Content in dry matter: organic matter – up to 60 %, NTOTAL – 0.65 %, P_2O_5 – 0. 4 %, K_2O – 0.3 %	*Мелиорант и пролонгированное удобрение.* Годовой объем ≈ 10,5 тыс. м^3. Вносится однократно в норме 30 м^3/га, что обеспечивает мелиорацию 350-400 га земель за 3-летний ротационный цикл / *Ameliorant and prolonged fertilizer.* The annual volume is approximately 10,500 m^3. It is applied once at a rate of 30 m^3/ha, which ensures the reclamation of 350-400 ha of land over a 3-year rotational cycle.
2. Сброженный осадок (эффлюент) / Fermented sediment (effluent)	300-400 м^3 (в вегетац. период) / 300-400 m^3 (during the growing season)	$N_{ОБЩ}$: 1,2-1,5 г/л. $P_{ОБЩ}$: 0,4-0,5 г/л. K: 1,0-1,2 г/л. / N_{TOTAL}: 1.2-1.5 g/l. P_{TOTAL}: 0.4-0.5 g/l. K: 1.0-1.2 g/l.	*Балансированное жидкое органическое удобрение для орошения.* Планируемая площадь орошения многолетних трав – 1200-1500 га. Нормированное внесение обеспечивает предельно допустимую годовую нагрузку азота не более 200 кг/га / *Balanced liquid organic fertilizer for irrigation*. The planned area for irrigation of perennial grasses is 1200-1500 ha. The regulated application ensures a maximum annual nitrogen load of no more than 200 kg/ha
3. Очищенная вода / Purified water	≈ 190 м^3	$БПК_{ПОЛН}$ < 15 мг/л. $N_{ОБЩ}$ < 20 мг/л. Соответствует нормативам для рыбохозяйственных водоемов / BOD_{TOTAL} < 15 mg/l. NO_{TOTAL} < 20 mg/l. Meets the standards for fisheries	*Техническая вода или сброс.* Может быть возвращена в технологический цикл (гидросмыв) или безопасно отведена в водный объект / *Technical water or discharge*. Can be returned to the technological cycle (hydroflushing) or safely discharged into a water body

Представленная сводка наглядно демонстрирует переход от утилизации отходов к управлению ресурсными потоками. Каждый полученный продукт обладает четко определенными потребительскими свойствами и нормируемым режимом применения. Твердая фракция выступает не просто как осадок, а как структурообразующий мелиорант с долговременным последействием, способствующий восстановлению и повышению почвенного плодородия. Сброженный осадок, прошедший санитарную обработку в метантенке, представляет собой готовый к применению питательный раствор, использование которого в системе орошения позволяет замещать значительную долю минеральных удобрений и решать проблему водоотведения в засушливый период. Таким образом, предлагаемая тех-

нологическая схема замыкает материальные циклы внутри агрохолдинга, трансформируя экологическую нагрузку в воспроизводимый ресурс для растениеводства и мелиорации земель.

Заключение. Проведенные исследования и инженерные расчеты подтверждают техническую осуществимость и высокую ресурсно-экологическую эффективность предлагаемой комплексной схемы переработки сточных вод и навоза для крупного свиноводческого комплекса. Разработанная технологическая цепочка, интегрирующая этапы механического разделения, анаэробного сбраживания и глубокой биологической доочистки, представляет собой законченное инженерное решение, адаптированное к масштабам и климатическим условиям юга России.

Ключевым результатом работы является доказательство возможности трансформации экологической нагрузки в стабильные ресурсные потоки. Внедрение схемы позволит ежесуточно утилизировать 650 м³ сырого субстрата с получением значимых продуктов:

1. Энергетический ресурс: производство до 5200 м^3 биогаза в сутки, что обеспечит генерацию примерно 3120 кВт·ч электроэнергии и покрытие тепловых потребностей процесса, повышая энергетическую автономность предприятия.

2. Агрохимические ресурсы: формирование трех стандартизированных продуктов с нормируемыми свойствами:

- Твердая фракция (≈30 м^3/сут.) – структурообразующий мелиорант для улучшения агрофизических свойств почв.

- Сброженный эффлюент (жидкое удобрение) – сбалансированный по элементам питания раствор для фертигации.

- Техническая вода, соответствующая нормативам для сброса в рыбохозяйственные водоемы или повторного использования.

3. Земельный ресурс: определена потребная и достаточная площадь сельхозугодий (1250 га) в рамках холдинга для безопасной и агрономически обоснованной утилизации всех продуктов переработки в замкнутом цикле.

Важнейшим технологическим преимуществом предложенной схемы является ее адаптивность. Расчеты основных аппаратов – метантенков полезным объемом 7800 м^3 и аэротенка объемом 4200 м^3 – выполнены исходя из реальных параметров стоков конкретного предприятия. Предварительное механическое разделение не только снижает нагрузку на последующие стадии на 25-30 % по органике, но и формирует отдельный полезный продукт. Последующая биологическая доочистка с зонированием процессов нитри-денитрификации гарантирует достижение жестких нормативов по азоту и фосфору.

Таким образом, реализация данного проекта позволит предприятию АО «Краснодонское» совершить переход от экологически опасного пассивного складирования отходов к активному ресурсосберегающему производству. Получаемые возобновляемая энергия и высокоэффективные органические удобрения не только минимизируют экологический ущерб, но и создают дополнительную экономическую ценность, замыкая материальные потоки в рамках агрохолдинга и устойчивого развития агропромышленного комплекса.

Conclusions. The conducted research and engineering calculations confirm the technical feasibility and high resource and environmental efficiency of the proposed integrated wastewater and manure treatment system for a large pig farm. The developed process chain, integrating the stages of mechanical separation, anaerobic digestion, and deep biological treatment, represents a complete engineering solution adapted to the scale and climatic conditions of southern Russia.

The key result of the work is the demonstration of the feasibility of transforming environmental impacts into stable resource flows. Implementation of the system will enable the daily utilization of 650 m³ of raw substrate, yielding significant products:

1. Energy resource: Production of up to 5200 m³ of biogas per day, which will generate approximately 3120 kWh of electricity and cover the thermal needs of the process, increasing the energy autonomy of the enterprise.

2. Agrochemical Resources: Formation of three standardized products with regulated properties:

- Solid fraction (≈30 m³/day) – a structure-forming ameliorant for improving the agrophysical properties of soils.

- Digested effluent (liquid fertilizer) – a nutrient-balanced solution for fertigation.

- Industrial water that meets standards for discharge into fishery waters or reuse.

3. Land Resources: The required and sufficient area of agricultural land (1250 hectares) within the holding company has been determined for the safe and agronomically sound disposal of all processed products in a closed-loop system.

The most important technological advantage of the proposed scheme is its adaptability. Calculations for the main units – a digester with a useful volume of 7800 m³ and an aeration tank with a capacity of 4200 m³ – were based on the actual effluent parameters of a specific enterprise. Preliminary mechanical separation not only reduces the load on subsequent stages by 25-30 % in terms of organic matter but also creates a separate, useful product. Subsequent biological treatment with zoning of the nitri-denitrification process ensures the achievement of strict nitrogen and phosphorus standards.

Thus, the implementation of this project will enable Krasnodonskoye JSC to transition from environmentally hazardous passive waste disposal to active, resource-saving production. The resulting renewable energy and highly effective organic fertilizers not only minimize environmental damage but also create additional economic value, closing material flows within the agricultural holding and promoting sustainable development of the agro-industrial complex.

Библиографический список

1. Mutalipova Zh. A., Baiseitova A. B., Sarybaeva Zh. H. Qualitative analysis of wastewater. News of the Dulaty University. 2023. No 3 (11). Pp. 164-171.

2. Otarbayev B., Isayev S., Khojasov A., Sultanova N., Muratova R. Environmentally acceptable norms of man-made loads on irrigated lands during wastewater disposal. Journal of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary and Zoo technics. 2024. № 3 (8). Pp. 1-11.

3. Маслова М. В., Семушина Ю. П. Исследования по разработке реагентной ресурсосберегающей технологии очистки сточных вод сложного состава. Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 5. С. 22-27.

4. Парамонова Л. Н. Пути повышения эффективности очистки сточных вод. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2024. Т. 21. № 2. С. 324-331.

5. Новиков А. Е., Филимонов М. И., Ламскова М. И., Дугин Е. А. Технология монтажных работ малогабаритных биостанций на основе септических систем. Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2023. № 3 (44). С. 6-11.

6. Мещеряков М. П., Фомин С. Д., Тронев С. В., Кузнецова Н. В., Мещерякова Е. Г. Эффективность применения кавитационно-сорбционной технологии обработки животноводческих стоков. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 6 (78). С. 340-348.

7. Китиков В. О., Полоз И. И., Чухольский А. И. Обоснование критериев при выборе технологии использования осадков сточных вод. Вестник Брестского государственного технического университета. 2024. № 2 (134). С. 146-150.

8. Завьялова Г. Е., Реут Л. А., Щербакова М. В. Методы контроля качества сточных вод в решении экологических проблем. Грани познания. 2024. № 3 (92). С. 4-7.

9. Чепрунова Ю. В., Тиньгаев А. В., Воробьева Р. П., Шепталов В. Б. Влияние осадка сточных вод на экологическую устойчивость агроландшафта рекультивированного полигона. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2025. № 3 (245). С. 28-32.

10. Игнатенко А. В. Анализ биологической очистки сточных вод и детоксикации активного ила очистных сооружений. Химическая безопасность. 2022. Т. 6. № 1. С. 21-46.

11. Мещеряков М. П., Болотин Д. А., Веденеева В. А. Интенсификация биологических методов очистки животноводческих стоков при их использовании в мелиоративном земледелии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 472-481.

12. Волкова В. Н., Шевцов М. Н. Минимизация осадков, образующихся при эксплуатации очистных сооружений. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 4. С. 593-606.

13. An Ch., Zhang D., Yu H., Hu P., Zhang Ju. Analysis of water quality characteristics and test of the whole functioning process at a sewage treatment plant. Theoretical and Applied Ecology. 2025. No 2. Pp. 142-149.

14. Семененко С. Я. Экологический императив в инновационных технологиях полива животноводческими стоками. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 60-70.

15. Кузин Е. Н., Фадеев А. Б. Получение комплексных титансодержащих коагулянтов из крупнотоннажных минеральных концентратов и их использование при очистке сточных вод. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 4. С. 34-42.

16. Рахимкулов А. Р., Степанов Е. Г. Модернизация очистных сооружений на птицефабрике. Human Progress. 2024. Т. 10. № 12.

References

1. Mutalipova Zh. A., Baiseitova A. B., Sarybaeva Zh. H. Qualitative analysis of wastewater. News of the Dulaty University. 2023. No 3 (11). Pp. 164-171.

2. Otarbayev B., Isayev S., Khojasov A., Sultanova N., Muratova R. Environmentally acceptable norms of man-made loads on irrigated lands during wastewater disposal. Journal of Osh State University. Agriculture: Agronomy, Veterinary and Zoo technics. 2024. № 3 (8). Pp. 1-11.

3. Maslova M. V., Semushina Yu. P. Research on the Development of a Reagent Resource-Saving Technology for Treating Complex Wastewater. Ecology and Industry of Russia. 2023. Vol. 27. No 5. Pp. 22-27.

4. Paramonova L. N. Ways to Improve the Efficiency of Wastewater Treatment. Bulletin of the St. Petersburg Transport University. 2024. Vol. 21. No 2. Pp. 324-331.

5. Novikov A. E., Filimonov M. I., Lamskova M. I., Dugin E. A. Installation Technology for Small-Sized Biostations Based on Septic Systems. Energy and Resource Saving: Industry and Transport. 2023. No 3 (44). Pp. 6-11.

6. Meshcheryakov M. P., Fomin S. D., Tronev S. V., Kuznetsova N. V., Meshcheryakova E. G. Efficiency of applying cavitation-sorption technology for treating livestock wastewater. Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 6 (78). Pp. 340-348.

7. Kitikov V. O., Poloz I. I., Chukholsky A. I. Justification of criteria for selecting a technology for using sewage sludge. Bulletin of Brest State Technical University. 2024. No 2 (134). Pp. 146-150.

8. Zavyalova G. E., Reut L. A., Shcherbakova M. V. Methods of wastewater quality control in solving environmental problems. Facets of knowledge. 2024. No 3 (92). Pp. 4-7.
9. Cheprunova Yu. V., Tingaev A. V., Vorobyeva R. P., Sheptalov V. B. The impact of sewage sludge on the environmental sustainability of the agricultural landscape of the reclaimed landfill. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2025. No 3 (245). Pp. 28-32.
10. Ignatenko A. V. Analysis of Biological Wastewater Treatment and Detoxification of Activated Sludge from Treatment Facilities. Chemical Safety. 2022. Vol. 6. No 1. Pp. 21-46.
11. Meshcheryakov M. P., Bolotin D. A., Vedeneyeva V. A. Intensification of Biological Methods for Treating Livestock Wastewater for Use in Reclamation Agriculture. Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No 4 (64). Pp. 472-481.
12. Volkova V. N., Shevtsov M. N. Minimization of Sludge Formed during the Operation of Wastewater Treatment Facilities. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety. 2023. Vol. 31. No 4. Pp. 593-606.
13. An Ch., Zhang D., Yu H., Hu P., Zhang Ju. Analysis of water quality characteristics and test of the whole functioning process at a sewage treatment plant. Theoretical and Applied Ecology. 2025. No 2. Pp. 142-149.
14. Semenenko S. Ya. Environmental imperative in innovative technologies for irrigation with livestock wastewater. Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 4 (76). Pp. 60-70.
15. Kuzin E. N., Fadeev A. B. Production of complex titanium-containing coagulants from large-tonnage mineral concentrates and their use in wastewater treatment. Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo-resources Engineering. 2024. Vol. 335. No 4. Pp. 34-42.
16. Rakhimkulov A. R., Stepanov E. G. Modernization of treatment facilities at a poultry farm. Human Progress. 2024. Vol. 10. No 12.

Информация об авторах
Мещеряков Максим Павлович, доктор технических наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: makc-sln@yandex.ru
Григоров Сергей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: gsm.dtn@mail.ru
Мещерякова Елена Геннадьевна, старший преподаватель, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: ale-sn@yandex.ru
Досова Айжан Галимовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: aijanraskalieva@mail.ru
Authors' Information
Meshcheryakov Maksim Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: makc-sln@yandex.ru
Grigorov Sergey Mikhailovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University" (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: gsm.dtn@mail.ru
Meshcheryakova Elena Gennadyevna, Senior Lecturer, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, 26 Universitetsky Ave., Volgograd), e-mail: ale-sn@yandex.ru
Dosova Aizhan Galimovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, 26 Universitetsky Ave., Volgograd), e-mail: aijanraskalieva@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-58

THE CLEANING AND ANTI-CORROSION PROTECTION TECHNOLOGIES FOR THE AUTOMOTIVE AND TRACTOR PARTS: THE MODERN METHODS AND COMPOSITIONS

[1]Murog I. A., [2]Uspensky I. A., [2]Yukhin I. A., [2]Yumaev D. M., [2]Vyshegorodtsev A. G., [2]Kutyraev A. A.

[1]The Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation
Moscow, Russian Federation
[2]Ryazan Agro-technological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kutyraev@bk.ru

Received 15.05.2026 Submitted 01.07.2026

The work was carried out in accordance with the research plan of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ryazan State Agrotechnical University for 2026–2030 on the topic "Scientific substantiation of technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex."

Abstract

Introduction. During repairs to automotive and tractor equipment, steel and cast iron parts can be subject to secondary corrosion immediately after cleaning. Traditional alkali- and organic-solvent-based compounds not only fail to prevent it, but in some cases actually provoke it [9, 10]. This is not so much a chemical curiosity as an economically significant reason for the rejection of reconditioned components. This article aims to evaluate, through a comparative analysis of synthetic detergent (SD) technologies and formulations, the extent to which a combination of hardware methods and inhibitor compounds can simultaneously remove multi-component contaminants typical of automotive and tractor equipment and provide protection during inter-operational storage. **Object.** The object of the research is modern technologies (hardware methods) and chemical agents (synthetic detergents, corrosion inhibitors) for washing parts of automotive and tractor equipment, considered in the context of simultaneously solving the problems of cleaning from contaminants and anti-corrosion protection. **Materials and methods.** The study is structured as an analytical review of

scientific and technical literature. When selecting publications, preference was given to those that simultaneously described the cleaning ability of a method or composition and its anticorrosive action on cast iron, steel, and aluminum alloys. Technologies (ultrasonic, cryogenic, automated cleaning) and detergents were compared based on their operating principle, types of contaminants removed, impact on the material, potential for inter-operational protection, and the availability of solution regeneration systems. **Results and conclusion.** Revealed that the development of cleaning technologies is increasingly shifting from contaminant removal to the formation of a thin inhibitory layer on the component surface. This development, in our view, is based on the synergy of precision hardware methods and aqueous biodegradable detergents with integrated inhibitors. A typical example is the sequential use of blasting and ultrasonic cleaning followed by surface preservation with a chemical composition. A trend toward closed-loop processing has also been documented: according to industry reports, solution regeneration systems can reduce water and concentrate consumption by up to 90 %. The transition from simple degreasing to an integrated "cleaning plus protection" process transforms cleaning into an independent stage that determines the reliability of the repaired component. Combining a precision method with an environmentally friendly detergent with an inhibitor already makes it possible to simultaneously achieve high levels of cleanliness, prevent secondary corrosion, and reduce the environmental impact of repair operations. Further development, in our opinion, will be associated with the depth of implementation of means of objective control of surface quality and with the development of “green” inhibitors aimed at specific groups of alloys.

Keywords: *parts cleaning, corrosion, ultrasonic cleaning, cryoblasting, synthetic detergents (SD), corrosion inhibitors, automotive and tractor equipment.*

Citation. Murog I. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Yumaev D. M., Vyshegorodtsev A. G., Kutyraev A. A. The cleaning and anti-corrosion protection technologies for the automotive and tractor parts: the modern methods and compositions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 519-528 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-58.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 621.794:620.193.4

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ И АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СОСТАВЫ

[1]Мурог И. А., *доктор технических наук, профессор*
[2]Успенский И. А., *доктор технических наук, профессор*
[2]Юхин, И. А., *доктор технических наук, профессор*
[2]Юмаев Д. М., *кандидат технических наук*
[2]Вышегородцев А. Г., *аспирант*
[2]Кутыраев А. А., *аспирант*

[1]Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации
[2]ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»
г. Рязань, Российская Федерация

Работа выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2026-2030 годы по теме «Научное обоснование технологий, машин и оборудования для АПК».

Актуальность. При ремонте автотракторной техники стальные и чугунные детали сразу после очистки могут подвергаться вторичной коррозии, причём традиционные составы на основе щелочей и органических растворителей не только не предотвращают, но в ряде случаев ее провоцируют [9, 10]. За этим кроется не столько химический курьёз, сколько экономически ощутимая причина отбраковки восстановленных узлов. В статье поставлена задача – через сравнительный анализ технологий и рецептур синтетических моющих средств (СМС) оценить, в какой мере комбинация аппаратных методов и ингибирующих составов способна одновременно удалять характерные для автотракторной техники многокомпонентные загрязнения и обеспечивать защиту на период межоперационного хранения. **Объект.** Объектом исследования являются современные технологии (аппаратные методы) и химические средства (синтетические моющие составы, ингибиторы коррозии) для мойки деталей автотракторной техники, рассматриваемые в аспекте одновременного решения задач очистки от загрязнений и антикоррозионной защиты. **Материалы и методы.** При отборе публикаций предпочтение отдавалось тем, в которых моющая способность метода или состава описана одновременно с его антикоррозионным действием применительно к чугуну, стали и алюминиевым сплавам. Технологии (ультразвуковая, криогенная, автоматизированная мойка) и СМС сопоставлялись по принципу действия, типам удаляемых загрязнений, воздействию на материал, потенциалу межоперационной защиты и наличию систем регенерации растворов. **Результаты и выводы.** Логика развития моечных технологий всё заметнее смещается от удаления загрязнений к формированию на

поверхности детали тонкого ингибирующего слоя. Это движение, на наш взгляд, основано на синергии прецизионных аппаратных методов и водных биоразлагаемых СМС с встроенными ингибиторами. Характерный пример – последовательное применение струйной обработки и ультразвуковой очистки с последующей консервацией поверхности химическим составом. Зафиксирована и тенденция к замыканию рабочих контуров: системы регенерации растворов, по данным отраслевых отчётов, позволяют снизить расход воды и концентратов на величину до 90 %. Переход от простого обезжиривания к интегрированному процессу «очистка плюс защита» превращает мойку в самостоятельную стадию, определяющую надёжность отремонтированного узла. Эксплуатация связок «прецизионный метод – экологичное СМС с ингибитором» уже сегодня даёт возможность одновременно достигать высоких степеней чистоты, предотвращать вторичную коррозию и сокращать экологический ущерб ремонтного производства. Дальнейшее развитие, по нашему мнению, будет связано с глубиной внедрения средств объективного контроля качества поверхности и с разработкой «зелёных» ингибиторов, ориентированных на конкретные группы сплавов.

Ключевые слова: *мойка деталей, коррозия, ультразвуковая очистка, криобластинг, синтетические моющие средства (СМС), ингибиторы коррозии, автотракторная техника*.

Цитирование. Мурог И. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Юмаев Д. М., Вышегородцев А. Г., Кутыраев А. А. Технологии очистки и антикоррозионной защиты деталей автотракторной техники: современные методы и составы. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 519-528. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-58.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Эффективность ремонта агрегатов автотракторной техники в решающей степени зависит от качества подготовки деталей, и центральное место здесь по-прежнему занимает мойка [1, 2]. Однако современная практика сталкивается с тем, что неверно подобранный состав или режим очистки нередко приводит к появлению очагов ржавчины ещё до сборки – в особенности при колебаниях влажности, типичных для ремонтных цехов. Иными словами, коррозия после мойки – не гипотетический риск, а воспроизводимый технологический дефект, способный полностью обесценить восстановительные работы [9, 10].

Именно это обстоятельство, на наш взгляд, заставляет рассматривать мойку уже не как вспомогательную операцию, а как полноценную стадию технологического цикла, в которой пересекаются требования к очистке и к антикоррозионной защите. Приходится одновременно удалять многокомпонентные загрязнения – масла, нагар, продукты износа, остатки прокладок – и обеспечивать коррозионную стойкость поверхности в период от мойки до финишной сборки, и далее в эксплуатации [11, 12].

Двойственность задачи вызвала к жизни два параллельных направления. С одной стороны, прецизионные аппаратные методы, такие как ультразвуковая и криогенная мойка, позволяют очищать труднодоступные полости без абразивного износа. С другой – меняется химическая основа моющих средств: токсичные и пожароопасные органические растворители уступают место водным растворам синтетических ПАВ и сложных эфиров, которые всё чаще несут в себе дополнительные ингибирующие свойства. Цель статьи – опираясь на доступные научно-технические источники, систематизировать эти технологии и средства, оценив их по двум основным критериям: способности удалять специфичные для автотракторной техники загрязнения и способности предупреждать коррозионное поражение очищенной поверхности.

Материалы и методы исследования. Корпус источников составили научные публикации, отраслевые отчёты и техническая документация производителей моющих средств. Главным критерием включения материала в анализ было одновременное описание моющей способности и антикоррозионного эффекта технологии или состава применительно к конструкционным материалам деталей: чугуну, стали и алюминиевым сплавам. Временной охват – от 2011 г. (диссертация К. А. Жильцова) до публикаций 2024-2025 гг., вошедших в список литературы.

Сравнение аппаратных методов проводилось по следующим параметрам: физический принцип действия, эффективность против масляных, углеродистых и полимеризованных отложений, воздействие на материал детали, экологичность процесса, экономическая целесообразность и возможность встраивания в маршрутную карту ремонта как этапа межоперационной защиты. Анализ СМС и ингибиторов опирался на сведения об их химиче-

ском составе, механизме действия и рекомендуемых режимах. Повышенное внимание уделялось двум сквозным тенденциям, зафиксированным в литературе: переход к биоразлагаемым рецептурам и развитие систем регенерации рабочих растворов.

Результаты и обсуждение. *Аппаратные методы.* Рассмотренные технологии объединяет одно: каждая из них даёт уровень чистоты, практически недостижимый при ручной мойке. Вместе с тем их физические механизмы и границы применимости заметно различаются, поэтому выбор в пользу того или иного метода, строго говоря, всегда компромиссен и зависит от материала, геометрии и типа загрязнения.

Ультразвуковая мойка основана на кавитации. Высокочастотные колебания создают в жидкости микропузырьки, которые, схлопываясь, локально «выбивают» загрязнения из пор, калиброванных отверстий и глухих полостей. Для прецизионных деталей топливной аппаратуры – форсунок, плунжерных пар ТНВД, клапанов гидросистем – этот метод позволяет очищать зоны, куда не проникает струя, и при этом не повреждает поверхность [13]. Цифровое управление частотой, температурой и временем в современных установках даёт возможность адаптировать воздействие под конкретную деталь.

Криогенная (сухая) мойка, или криобластинг, работает по иному принципу. В качестве абразива выступают гранулы твёрдого CO_2, которые при ударе сублимируются и за счёт микровзрывов отслаивают загрязнения. Процесс не оставляет ни вторичного абразива, ни влаги. Именно отсутствие влаги критически важно, когда деталь нужно немедленно передать на сборку или измерения. Этим объясняется его популярность при очистке чугунных блоков цилиндров и элементов шасси после удаления нагара и остатков прокладок, а также при работе с электрооборудованием и датчиками сельхозтехники. Тем не менее, стоит оговориться, что в открытой литературе практически не встречаются данные о воспроизводимости степени очистки в зависимости от исходного состояния поверхности; этот вопрос, по-видимому, требует отдельного экспериментального изучения.

Современная пескоструйная обработка демонстрирует, как смена абразива способна изменить сам характер процесса. Пластиковые гранулы, стеклянные шарики, скорлупа ореха позволили уйти от грубого воздействия, характерного для традиционной пескоструйной очистки. Замкнутый цикл с сепарацией и рециркуляцией абразива не только уменьшает выброс пыли, но и делает расход материала управляемым. Автоматизированные моечные комплексы – проходные камеры и кабины с манипуляторами – решают задачу равномерной очистки крупных агрегатов, таких как двигатели, мосты, коробки передач. Благодаря программируемому движению форсунок и контролю режимов результат становится воспроизводимым от детали к детали, что особенно важно для обезличенного ремонта.

Синтетические моющие средства и ингибиторы. На наш взгляд, наиболее существенный сдвиг в химии мойки заключается не просто в замене агрессивных растворителей на водные эмульсии, а в том, что рецептуры нового поколения всё чаще объединяют моющую и ингибирующую функции. В таблице 1 отражены ключевые различия между СМС предыдущего и нынешнего поколений.

Таблица 1 – Основное отличие современных СМС от СМС предыдущего поколения
Table 1 – The main difference between modern synthetic detergents and previous generation of the synthetic detergents

Параметр / Parameter	СМС предыдущего поколения (солярка, щёлочи) / Previous-generation of the synthetic detergents (diesel fuel, alkalis)	Современные СМС / Modern synthetic detergents
Основа / Base	Нефтепродукты, агрессивные химикаты / Petroleum products, aggressive chemicals	Вода, сложные эфиры, ПАВ / Water, esters, surfactants
Воздействие на материалы / Effect on materials	Часто повреждает металл, резину / Often damages metal and rubber	Щадящее, безопасное для материалов / Gentle, safe for materials
Экологичность / Environmental friendliness	Низкая, сложная утилизация / Low efficiency, complex disposal	Высокая, способность к биоразложению / High, biodegradable
Безопасность / Safety	Едкие пары, пожароопасность / Corrosive fumes, fire hazard	Минимальный запах, негорючесть / Minimal odor, non-flammable
Эффективность / Effectiveness	Механическое растворение / Mechanical dissolution	Химическое расщепление и вытеснение загрязнений / Chemical breakdown and displacement of contaminants

Конкретные продукты, представленные в отраслевой литературе, иллюстрируют это движение. Так, Geyser Spray Part обеспечивает обезжиривание при низких концентрациях (1-2 %) и умеренных температурах (30-60 °C), будучи при этом биоразлагаемым и безопасным для большинства конструкционных материалов. Напротив, щелочной «Кависан-Ультима» (pH ≈ 13) ориентирован на жёсткие условия струйных машин и демонстрирует высокую эффективность против консервационных смазок на чугунных и стальных деталях, но требует строгого соблюдения концентрации (1-10 %) и температурного интервала (50-80 °C) и неприменим к цветным металлам. Это различие подтверждает, что даже в рамках одной технологической ниши не существует универсального выбора: решение всегда опирается на пару «материал детали – тип загрязнения».

Центральным функциональным элементом современных СМС становятся ингибиторы коррозии. Их действие основано на адсорбции на очищенной металлической поверхности и формировании монослоя, блокирующего электрохимические реакции. Среди изученных соединений в литературе описаны ингибиторы на базе кислородных соединений бора [15] и органические составы с амино- и фосфатными группами, эффективные для защиты сталей в кислых и нейтральных технологических средах. Для деталей, уже имеющих коррозионные поражения, на практике применяются не только кислотные очистители, но и преобразователи ржавчины. Последние не удаляют оксиды, а трансформируют их в стабильные фосфатные слои, которые могут служить грунтом под последующую окраску.

Отдельный интерес представляет продукт Syn Tech – концентрат, заменяющий минеральные кислоты при корректировке pH воды в системах мойки. По заявленным характеристикам, он не провоцирует коррозию оборудования, не выделяет опасных паров и полностью биоразлагаем (Епишина Т. М., 2024). В ремонтной практике его вводят в воду для усиления моющих средств, когда приоритетны безопасность персонала и минимизация агрессивных стоков. Стоит, однако, оговориться, что долговременные данные об эффективности Syn Tech в отношении различных сплавов в открытой печати пока представлены ограниченно; это обстоятельство оставляет пространство для дальнейших испытаний.

Закономерным развитием описанных тенденций стало появление «умных» составов, в которых очистка и ингибирование сознательно сбалансированы. Таблица 2 даёт сжатое представление о нескольких коммерческих продуктах, которые, с нашей точки зрения, наиболее выпукло отражают сдвиг от универсальной химии к целевым решениям, привязанным к конкретному методу мойки и материалу детали.

Таблица 2 – Обзор современных синтетических моющих средств
Table 2 – Overview of modern synthetic detergents

Марка СМС / Brand	Характеристика / Characteristic	Назначение / Purpose	Концентрация в растворе / Concentration in the solution	Температура раствора / Solution temperature	Продолжительность мойки / Washing duration	Производитель / Manufacturer
1	2	3	4	5	6	7
1. Средства для ультразвуковой мойки (прецизионная очистка) / Ultrasonic cleaning agents (precision cleaning)						
BIO-CIRC 314	Щелочное, био- разлагаемое кон- центрированное средство. Содержит ингибиторы коррозии. Низкое пенообразование / Alkaline, biodegradable concentrated agent. Contains corrosion inhibitors. Low foaming	Идеально для мойки деталей топливной аппаратуры (форсунки Common Rail, ТНВД), деталей двигателя, подшипников в ультразвуковых ваннах / Ideal for washing fuel system parts (Common Rail injectors, ТНВД), engine parts, and bearings in ultrasonic baths	3-10 % (30-100 мл на 1 л воды) / 3-10 % (30-100 ml per 1 L of water)	50-70 °C	5-20 минут / 5-20 minutes	RelyOn США / USA

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Zestron FA+	Специализированное средство на водной основе с нейтральным pH. Не содержит летучих органических соединений / The specialized water-based product with a neutral pH. Does not contain volatile organic compounds	Безопасная очистка высоко чувствительных компонентов: алюминиевых деталей, электронных блоков управления (ЭБУ), датчиков. Не повреждает пластик и цветные металлы / Safe cleaning of highly sensitive components: aluminum parts, electronic control units (ECUs), sensors. Does not damage plastic and non-ferrous metals	5-15 %	40-60 °C	3-15 минут / 3-15 minutes	Zestron Германия / Germany
Techspray 1625-2S	Концентрированный водный очиститель. Быстро эмульгирует масла и смазки / Concentrated aqueous cleaner. Quickly emulsifies oils and lubricants	Универсальное средство для УЗ-ванн: детали КПП, гидросистем, электро- двигателей. Эффективно против консервационных смазок / Universal agent for ultrasonic baths: gearbox parts, hydraulic systems, electric motors. Effective against preservative lubricants	5-10 %	50-60 °C	5-15 минут / 5-15 minutes	Techspray США / USA
2. Средства для моечных машин (камер, ванн мойки) и ручной очистки / Products for washing machines (chambers, washing basins) and manual cleaning						
Cuccem S 133	Мощное щелочное средство с антикоррозионными добавками. Эффективно против масел, жиров, нагара / A powerful alkaline agent with anti-corrosion additives. Effective against oils, fats, and carbon deposits	Очистка сильно загрязненных деталей: блоков цилиндров, головок блока, деталей шасси, КПП, мостов / Cleaning of heavily soiled parts: cylinder blocks, cylinder heads, chassis parts, gearboxes, axles	1-5 % (10-50 мл/л) / 1-5 % (10-50 ml/l)	60-80 °C	10-30 минут (в машине) / 10-30 minutes (in the machine)	Chemische Werke Kluthe GmbH Германия / Germany
Miller-Stephenson MS-180	Водорастворимый синтетический концентрат. Низкопенный, подходит для систем с циркуляцией / Water-soluble synthetic concentrate. Low-foaming, suitable for systems with circulation	Универсальная мойка двигателей, трансмиссий, деталей ходовой части в моечных камерах и ваннах. Безопасен для алюминия / Universal washing of engines, transmissions, and chassis parts in washing chambers and baths. Safe for aluminum	1-10 % (в зависимости от загрязнения) / 1-10 % (depending on the degree of contamination)	20-60 °C	5-25 минут / 5-25 minutes	Miller-Stephenson (США / USA)

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Köster Alu 55	Специализированное слабощелочное средство с усиленными ингибиторами коррозии / Thespecialized mild alkaline product with enhanced corrosion inhibitors	Предназначено для бережной очистки деталей из алюминия и его сплавов (головки блока, радиаторы, впускной коллектор). Предотвращает появление белого налета / Designed for gentle cleaning of parts made of aluminum and its alloys (cylinder heads, radiators, intake manifold). Prevents the appearance of white deposits	2-5 %	50-60 °C	10-20 минут / 10-20 minutes	Köster & Co. GmbH Германия / Germany
3. Специализированные составы для конкретных загрязнений / Specialized formulations for specific contaminants						
LAVO 5 DIESEL	Специальное средство для удаления парафинов и смол, образующихся в дизельном топливе / A special tool for removing paraffins and resins formed in diesel fuel	баков, фильтров, трубопроводов и деталей топливной системы дизельной техники от тяжелых отложений / tanks, filters, pipelines and parts of the fuel system of diesel machinery from heavy deposits	можно использовать в чистом виде для замачивания / can be used in its pure form for soaking	20-40 °C (не нагревать сильно!) 20 °C (или на теплую деталь) / 20-40 °C (do not heat too much!) 20 °C (or on a warm detail)	до нескольких часов / up to several hours	Польша / Poland / Германия / Germany
Wynn's Xtreme Clean	Синтетический обезжириватель на водной основе. Быстродействующий, с приятным запахом / Synthetic water-based degreaser. Fast-acting, with a pleasant odor	Быстрая ручная очистка и обезжиривание деталей перед сборкой. Подходит для очистки двигателя без разборки / Quick manual cleaning and degreasing of parts before assembly. Suitable for engine cleaning without disassembly	Готовый к применению или разбаление 1:1 / Ready for use or diluted 1:1	20 °C (или на теплую деталь) / 20 °C (or on a warm part)	3-10 минут (с последующей промывкой) / 3-10 minutes (followed by rinsing)	Wynn's США / USA
Permatex Fast Acting Gasket Remover	Специализи-ро- ванный гель/- спрей, а не СМС для ванн. Содержит мощные расщепители полимеров / The specialized gel / spray, not a synthetic detergents for bathtubs. Contains powerful polymer dispersants	Безмеханическое удаление остатков старых прокладок, герметиков и RTV-составов с привалочных плоскостей / Non-mechanical removal of remnants of old gaskets, sealants and RTV compounds from mating surfaces	Готовый к применению / Ready for use	20 °C (наносится на поверхность) / 20° C (applied to the surface)	10-30 минут (до размягчения / 10-30 minutes (until softened)	Permatex США / USA

Обращает на себя внимание, что современные композиции – это не просто смесь ПАВ. В них входят противопенные добавки (принципиально важные для ультразвуковых ванн и циркуляционных систем), ингибиторы межоперационного хранения, а также индикаторы выработки раствора. Последняя деталь заслуживает отдельного упоминания: изменение цвета сигнализирует о необходимости замены состава, что переводит контроль из лабораторной плоскости в плоскость производственного мониторинга. По сути, это пример того, как химическая разработка становится инструментом управления технологическим процессом.

Рост экологических требований и стремление к снижению себестоимости объясняют интерес к системам регенерации моющих растворов. Речь идёт о встроенных в моечную машину модулях сепарации, коагуляции и многоступенчатой фильтрации, которые непрерывно удаляют масло, твёрдые частицы и шлам, возвращая в процесс очищенную воду и активные компоненты. Отраслевые источники утверждают, что это позволяет многократно использовать один и тот же раствор и сократить потребление воды до 90 %. Мы склонны видеть в этом не только ресурсосберегающий эффект, но и фактор стабилизации качества очистки, так как химический состав ванны поддерживается в заданных пределах.

Обобщая рассмотренные данные, можно выделить три принципа, которые, на наш взгляд, определяют нынешнюю технологическую парадигму мойки деталей автотракторной техники.

1. **Прецизионность и селективность.** Результат очистки всегда определяется тремя факторами: размером и геометрией детали, типом загрязнения и материалом. Универсальный метод для чугунных блоков и алюминиевых головок, для форсунок и элементов шасси невозможен. Поэтому на практике выстраиваются технологические цепочки: например, блок цилиндров сначала очищается в проходной струйной камере, затем проходит криобластинг для снятия нагара и остатков прокладок, а его прецизионные элементы – финишную ультразвуковую обработку. Выбор абразива, СМС и режимов без ориентации на материал и тип отложений чреват либо повреждением поверхности, либо неудовлетворительной чистотой.

2. **Защита от коррозии как обязательный этап мойки.** В условиях обезличенного ремонта деталь после мойки может храниться от нескольких часов до нескольких суток. Если на поверхности не сформирован ингибирующий слой, в атмосфере цеха с переменной влажностью на стали и чугуне быстро появляются очаги ржавчины. Именно поэтому прогрессивные СМС всё чаще содержат ингибиторы межоперационной защиты. Вместе с тем анализ источников показывает, что эффективность ингибитора критически зависит от триады «материал детали – моющий состав – условия хранения». Без экспериментальной проверки (например, в камере соляного тумана или электрохимическими методами) гарантировать защиту невозможно; описаны ситуации, когда некорректно подобранный ингибитор, напротив, инициировал локальную коррозию.

3. **Экономическая и экологическая устойчивость.** Высокая стоимость криогенных установок, ультразвуковых ванн и регенерационных модулей окупается, по нашему мнению, не разовыми преимуществами, а системным снижением текущих расходов: экономией воды, химикатов, уменьшением затрат на утилизацию отходов и, что принципиально, повышением ресурса очищенных деталей. Тренд на «зелёную» химию не только отвечает нормативным требованиям, но и непосредственно влияет на условия труда, превращаясь в конкурентный аргумент ремонтного предприятия.

Заключение. Проведённое исследование даёт основания утверждать, что мойка деталей при ремонте автотракторной техники перестала быть подготовительной операцией и превратилась в технологическую стадию, от которой напрямую зависят качество, себестоимость и долговечность восстановленного узла. Среди рассмотренных направлений наиболее перспективной, на наш взгляд, является гибридная модель, объединяющая прецизионный аппаратный метод и водное СМС с ингибитором коррозии: именно такие комбинации способны одновременно обеспечить требуемую чистоту и защиту на период межоперационного хранения.

В число основных технологических векторов, зафиксированных в источниках, входят:

– внедрение ультразвуковой и криогенной мойки для безабразивной очистки чувствительных и прецизионных деталей;

– переход к СМС на водной основе, выполняющим одновременно моющую и ингибирующую функции;

– автоматизация процессов с цифровым контролем параметров для обеспечения воспроизводимости результата;

– реализация замкнутых циклов через системы регенерации растворов и безотходные технологии.

Дальнейшее продвижение, как мы полагаем, будет определяться несколькими факторами: способностью разработать «зелёные» ингибиторы, ориентированные на конкретные группы сплавов (чугун, алюминий), глубиной интеграции средств объективного контроля чистоты и коррозионной стойкости непосредственно в моечные линии и появлением роботизированных комплексов, способных адаптивно обрабатывать широкую номенклатуру деталей. Для ремонтных предприятий освоение этих решений становится не просто рекомендацией, а необходимым условием конкурентоспособности, ресурсосбережения и соответствия ужесточающимся экологическим стандартам.

Conclusion. This suggests that cleaning of automotive and tractor parts has ceased to be a preparatory operation and has become a process step directly affecting the quality, cost, and durability of the refurbished component. Among the approaches considered, the most promising, in our opinion, is a hybrid model combining a precision hardware method and an aqueous detergent with a corrosion inhibitor: these combinations can simultaneously provide the required cleanliness and protection during interoperational storage.

The key technological trends identified in the literature include: – the introduction of ultrasonic and cryogenic cleaning for non-abrasive cleaning of sensitive and precision parts; – the transition to water-based detergents that perform both cleaning and inhibition functions; – process automation with digital parameter control to ensure reproducible results; – the implementation of closed-loop solutions through solution regeneration systems and waste-free technologies.

We believe further progress will be determined by several factors: the ability to develop "green" inhibitors targeted at specific alloy groups (cast iron, aluminum), the deep integration of objective cleanliness and corrosion resistance monitoring systems directly into washing lines, and the emergence of robotic systems capable of adaptively processing a wide range of parts. For repair facilities, adopting these solutions is becoming more than just a recommendation, but a prerequisite for competitiveness, resource conservation, and compliance with increasingly stringent environmental standards.

Библиографический список

1. Фадеев И. В. и др. Повышение эффективности технологии нанесения противокоррозионного состава при постановке сельскохозяйственных машин на хранение. Техника и оборудование для села. 2022. № 1 (295). С. 39-42.

2. Бышов Н. В. и др. Разработка нового средства для защиты сельскохозяйственных машин при хранении. Техника и оборудование для села. 2019. № 6 (264). С. 38-42.

3. Шемякин А. В. и др. Влияние активации раствора колебанием корзины с деталями в моющей установке на степень очистки деталей. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15. № 1. С. 175-181.

4. Бышов Н. В. и др. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ. Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 2. С. 295-305.

5. Садетдинов Ш. В. и др. Повышение коррозионной стойкости углеродистой стали с помощью дипинаконборатных соединений. Черные металлы. 2020. № 11. С. 40-45.

6. Фадеев И. В., Садетдинов Ш. В. Повышение коррозионной стойкости стали 10. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2015. № 2 (41). С. 107-114.

7. Фадеев И. В., Новоселов А. М., Садетдинов Ш. В. Теоретические основы разработки новых ингибиторов коррозии для авто- транспортного комплекса. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2014. № 4 (39). С. 17-21.

8. Фадеев И. В. и др. Разработка композиции технологической жидкости для увеличения долговечности деталей и узлов транспортных средств. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2017. № 3 (50). С. 90-97.

9. Успенский И. А. и др. Моделирование влияния удобрений на динамику контуров увлажнения при капельном орошении. Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 1. С. 97-108.

10. Фадеев И. В. и др. Глицероборатное моюще-пассивирующее средство для ремонтного производства автотракторной техники. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 431-441.

11. Фадеев И. В. и др. Зависимость степени очистки поверхностей деталей агрегатов автотракторной техники от продолжительности мойки с активацией моющего раствора центрифугой. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14. № 3. С. 130-138.

12. Фадеев И. В. и др. Анализ способов очистки и мойки поверхностей деталей в процессе ремонта агрегатов автотракторной техники. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14. № 2. С. 183-192.

13. Дидманидзе О. Н., Петрик Д. Ю. Анализ эффективности внедрения технологии ультразвуковой очистки деталей сельскохозяйственной техники. Техника и оборудование для села. 2025. № 7 (337). С. 37-38.

14. Бышов Н. В. и др. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ. Инженерные технологии и системы. 2019. № 1. С. 249-255.

15.Фадеев И. В., Белов В. В., Садетдинов Ш. В. Применение тетраборатов лития, натрия, калия в качестве экологически чистых добавок к моющим средствам. Известия Международной академии аграрного образования. 2015. № 21. С. 52-55.

References

1. Fadeev I. V. et al. Improving the efficiency of the technology for applying an anti-corrosion compound when storing agricultural machinery. Machinery and Equipment for Rural Areas. 2022. No 1 (295). Pp. 39-42.

2. Byshov N. V. et al. Development of a new product for protecting agricultural machinery during storage. Machinery and Equipment for Rural Areas. 2019. No 6 (264). Pp. 38-42.

3. Shemyakin A. V. et al. The effect of activating the solution by oscillating the basket with parts in a washing unit on the degree of part cleaning. Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University. 2023. Vol. 15. No 1. Pp. 175-181.

4. Byshov N. V. et al. Changes in contact angles of wetting when surfactants are added to cleaning solutions. Engineering Technologies and Systems. 2019. Vol. 29. No 2. Pp. 295-305.

5. Sadetdinov Sh. V. et al. Improving the corrosion resistance of carbon steel using dipinaconborate compounds. Ferrous Metals. 2020. No 11. Pp. 40-45.

6. Fadeev I. V., Sadetdinov Sh. V. Improving the corrosion resistance of steel 10. Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). 2015. No 2 (41). Pp. 107-114.

7. Fadeev I. V., Novoselov A. M., Sadetdinov Sh. V. Theoretical foundations for the development of new corrosion inhibitors for the automotive transport complex. Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). 2014. No 4 (39). Pp. 17-21.

8. Fadeev I. V. et al. Development of a technological fluid composition to increase the durability of vehicle parts and components. Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). 2017. No 3 (50). Pp. 90-97.

9. Uspensky I. A. et al. Modeling the effect of fertilizers on the dynamics of moisture contours under drip irrigation. Engineering Technologies and Systems. 2021. Vol. 31. No 1. Pp. 97-108.

10. Fadeev I. V. et al. Glyceroborate cleaning and passivating agent for the repair production of motor and tractor equipment. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No 2 (62). Pp. 431-441.

11. Fadeev I. V. et al. Dependence of the degree of cleaning of the surfaces of parts of automotive and tractor equipment units on the duration of washing with activation of the washing solution by a centrifuge. Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University. 2022. Vol. 14. No 3. Pp. 130–138.

12. Fadeev I. V. et al. Analysis of methods for cleaning and washing the surfaces of parts in the process of repairing automotive and tractor equipment units. Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University. 2022. Vol. 14. No 2. Pp. 183-192.

13. Didmanidze O. N., Petrik D. Yu. Analysis of the effectiveness of implementing ultrasonic cleaning technology for agricultural machinery parts. Machinery and Equipment for the Village. 2025. No 7 (337). Pp. 37-38.

14. Byshov N. V. et al. Changes in contact angles of wetting when surfactants are added to cleaning solutions. Engineering Technologies and Systems. 2019. No 1. Pp. 249-255.

15. Fadeev I. V., Belov V. V., Sadetdinov Sh. V. The use of lithium, sodium, and potassium tetraborates as environmentally friendly additives to detergents. Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2015. No 21. Pp. 52-55.

Информация об авторах

Мурог Игорь Александрович, доктор технических наук, профессор, Сенатор Российской Федерации, Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации (Российская Федерация 103426, г. Москва, ул. Б. Дмитровка, 26), e-mail: rvai@mail.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.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

Юмаев Дмитрий Михайлович, кандидат технических наук, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1),e-mail: yumaeb@yandex.ru

Вышегородцев Андрей Геннадьевич, аспирант, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань,ул. Костычева, 1), e-mail: aker710@yandex.ru

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

Authors' Information

Murog Igor Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Senator of the Russian Federation, Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation (Russian Federation, 103426, Moscow, B. Dmitrovka Str., 26), e-mail: rvai@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Yumaev Dmitry Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: yumaeb@yandex.ru

Vyshegorodtsev Andrey Gennadievich, graduate student, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., Building 1), e-mail: aker710@yandex.ru

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

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-59

THE APPLE PEELS' REFLECTION COEFFICIENTS AND FLUORESCENCE INTENSITY CHANGES DURING THE RIPENING IN THE ORCHARD

[1,2]Rodikov S. A., [2]Boldyrev D. O.

[1]I. V. Michurin Federal Research Center
[2]Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: rsa_rih@mail.ru

Received 20.02.2026 Submitted.01.07.2026

Summary

This article presents the results of measuring the light reflectance and fluorescence intensity of apple surfaces during orchard harvesting. The study demonstrated that these parameters can be used to predict optimal apple harvesting times to minimize skin browning and prevent rot during storage.

Abstract

Introduction. Developing instruments and methods for assessing apple quality during both growth and ripening is essential for ensuring high quality for storage. The main physiological disease of apples is skin browning, which appears after two to three months of storage. One method for assessing apple quality is the reflectance and fluorescence of the apple surface during ripening in the orchard. Subject. The study involved Antonovka Obyknovennaya apples ripening in the orchard. Materials and Methods. The study was conducted in the orchards of the I. V. Michurin Federal Scientific Center in Michurinsk, Tambov Region. Apples were harvested in the second half of August and the first half of September 2020. Results and Conclusions. Changes in light reflectance and fluorescence intensity of the apple surface during harvesting in the orchard can be used to predict optimal harvest times to minimize skin browning and prevent rot. Based on the research results, it is possible to develop rapid analysis devices for determining reflectance and fluorescence coefficients. Research has established that the chlorophyll content in apple skin affects their tanning. In this case, chlorophyll contributes 69 % to the tanning process. The reflectance coefficient was determined by the wavelength ratio R_{750}/R_{700}, where R_{700} nm is the absorption band of chlorophyll a, and R_{750} nm is the absorption band determined only by the structure of the apple surface and tissue. The photosynthetic activity of chlorophyll in apple skin was determined by measuring the slow induction of chlorophyll fluorescence and estimated using the formula Fa = (Fm – Fo)/Fm, where Fm is the maximum chlorophyll fluorescence intensity, and Fo is the chlorophyll fluorescence intensity after 120 s. Based on the change in the reflection coefficients R_{750}/R_{700} or the index of photosynthetic activity of chlorophyll Fa in the skin of Antonovka Obyknovennaya apples during harvesting in the orchard, the optimal harvesting time can be determined.

Keywords: *apples, apple ripening, reflectance, apple surface fluorescence, apple harvesting, apple storage, superficial scald apple.*

Citation. Rodikov S. A., Boldyrev D. O. The apple peels' reflection coefficients and fluorescence intensity changes during the ripening in the orchard. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 529-536 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-59.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 634.11:535.37:631.547.6

ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ КОЖИЦЫ ЯБЛОК В ПРОЦЕССЕ СОЗРЕВАНИЯ В САДУ

[1,2]Родиков С. А., *доктор технических наук, профессор*
[2]Болдырев Д. О., *аспирант*

[1]ФГБНУ ВО «Федеральный научный центр им. И. В. Мичурина»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
г. Мичуринск, Тамбовская область, Российская Федерация

Актуальность. Разработка приборов и методов оценки качества яблок во время роста и созревания является важным для обеспечения их высокого качества при закладке на хранение. Основным физиологическим заболеванием яблок является побурение их кожицы, проявляющееся через два-три месяца хранения. Одним из методов оценки качества яблок является анализ показателей отражения света и флуоресценции поверхности плодов в процессе их созревания в саду. **Объект.** Объектом исследований являются яблоки сорта Антоновка обыкновенная в процессе созревания в саду. **Материалы и методы.** Исследования проводились в садах «ФНЦ им. И. В. Мичу-

рина» г. Мичуринска Тамбовской области. Съем яблок проводили во второй половине августа и первой половине сентября 2020 года. **Результаты и выводы.** По изменению коэффициентов отражения света и интенсивности флуоресценции поверхности яблок во время съема в саду можно прогнозировать оптимальные сроки их уборки, обеспечивающие минимальное развитие побурения кожицы и отсутствие гнили. По результатам исследований возможна разработка приборов экспресс-анализа для определения коэффициентов отражения и флуоресценции. Исследованиями установлено, что содержание хлорофилла в кожице яблок влияет на их загар. Доля влияния хлорофилла на загар в данном случае составляет 69 %. Коэффициент отражения определяли по соотношению длин волн R_{750}/R_{700}, где R_{700} нм – полоса поглощения хлорофилла *a*, и R_{750} нм – полоса поглощения, определяемая только структурой поверхности и ткани яблока. Фотосинтетическую активность хлорофилла в кожице яблок определяли по измерению медленной индукции флуоресценции хлорофилла и оценивали по формуле Fa = (Fm – Fo)/Fm, где Fm – максимальная интенсивность флуоресценции хлорофилла, Fo – интенсивность флуоресценции хлорофилла через 120 с. По изменению коэффициентов отражения R_{750}/R_{700} или показателя фотосинтетической активности хлорофилла Fa в кожице яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема в саду можно определять оптимальный срок съема.

Ключевые слова: *яблоки, созревание яблок, коэффициент отражения, флуоресценция поверхности яблок, сбор яблок, хранение яблок, поверхностный загар яблок.*

Цитирование. Родиков С. А., Болдырев Д. О. Изменение коэффициентов отражения и интенсивности флуоресценции кожицы яблок в процессе созревания в саду. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 529-536. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-59.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Основным физиологическим заболеванием яблок является загар – побурение кожицы яблок через два-три месяца хранения [1]. Процесс созревания яблок определяется физиологическими показателями, такими как фотосинтез, водный обмен и дыхание. Загаром поражаются более половины сортов яблок, закладываемых на хранение. Наиболее распространенной гипотезой развития загара является предположение, что происходит это из-за окисления α-фарнезена, находящегося в кутикуле кожицы яблок. До сих пор, несмотря на более чем пятидесятилетние исследования природы загара, нет результатов, доказывающих, что его причиной является окисление α-фарнезена. Например: «Хотя многие аспекты загара были исследованы, мы все ещё далеки от общего понимания этого расстройства. Мы показали, что возникновение загара в основном зависит от гидроксикоричных кислот, а именно хлорогеновой кислоты и ее повышенного накопления в процессе развития загара, в то время как другие фенольные соединения, по-видимому, не имеют отношения к проблеме» [2].

«Одним из наиболее информативных методов мониторинга, основанных на измерении биофизических характеристик растений, является измерение и анализ излучаемого растением света флуоресценции хлорофилла *a*» [3]. Ранее нами для «проведения измерений медленной индукции флуоресценции хлорофилла было разработано устройство, включающее рабочий столик со светодиодом и фотодиодом, на которое помещается яблоко и измерительный блок, сопряженный с компьютером. Для исследования разработаны несколько режимов измерения флуоресценции» [4].

Учитывая, что коэффициенты отражения и флуоресценция связаны с содержанием хлорофилла в кожице яблок, которое в процессе созревания снижается, по показателю коэффициентов отражения и флуоресценции можно судить о степени зрелости.

Целью исследований является проведение измерений коэффициентов отражения поверхности и интенсивности флуоресценции хлорофилла в кожице яблок во время их созревания в связи с загаром при хранении.

Материалы и методы. Для исследований использовали яблоки сорта Антоновка обыкновенная, выращенные в садах «ФНЦ им. И. В. Мичурина» г. Мичуринска, Тамбовской области. Съем яблок проводили во второй половине августа и первой половине сентября 2020 года. Во время ежедневного съема объем выборки составлял 10 яблок. Для оценки статистических показателей рассчитывали погрешность среднего по формуле:

$$\delta_{\bar{x}} = \delta/\sqrt{n},$$

где δ – стандартное отклонение, *n* – объем выборки.

Анализ содержания хлорофилла по коэффициентам отражения кожицей яблок проводили по методике [5, с. 93-94]. Коэффициенты отражения регистрировали на спектрофотометре СФ-26 с приставкой в виде V-образного световода [5, с. 94-96]. Коэффициенты отражения измеряли на длинах волн 700 нм (область поглощения хлорофилла *а)* и 750 нм (где поглощение определяется только структурой кожицы и ткани яблока). Фотосинтетическую активность хлорофилла в кожице яблок определяли по измерению медленной индукции флуоресценции хлорофилла и рассчитывали по формуле

$$Fa = (F_m - F_o)/F_m,$$

где F_m – максимальная интенсивность флуоресценции хлорофилла, F_o – интенсивность флуоресценции хлорофилла через 120 с [6].

Загар яблок при хранении оценивали по методике [7].

Для измерения флуоресценции поверхности яблок было разработано специальное устройство. В устройстве яблоко крепится на столике со сферическим углублением. В центре столика имеется отверстие, через которое яблоко облучается светом. Облучение поверхности яблока осуществляется светодиодом с длиной волны излучения в максимуме 470 нм. Под углом к оси отверстия в столике имеется другое отверстие, в котором находится фотодиод, на который попадает отраженное от поверхности яблока излучение флуоресценции. Максимум излучения флуоресценции находится на длине волны 685 нм. Полученный аналоговый сигнал с фотодиода оцифровывается и подается в компьютер, где сохраняется в виде электронной таблицы Excel.

Результаты и обсуждение. Во время созревания яблок в саду содержание хлорофилла в кожице по коэффициентам отражения и флуоресценции постепенно снижается, что очень хорошо заметно на плодах сорта Антоновка обыкновенная [9]. Прежде всего уменьшается содержание хлорофилла на солнечной стороне яблока, затем снижение продолжается на теневой стороне. Яблоки постепенно из зеленых становятся желтыми. Следует отметить, что при бо́льшем содержании хлорофилла в кожице, что характерно для ранних сроков съема, яблоки сильнее поражались загаром [8].

Ранее нами была установлена взаимосвязь содержания хлорофилла в кожице яблок сорта Антоновка обыкновенная (по коэффициентам отражения) с развитием на них загара, который достигает максимального развития в феврале, т. е. через шесть месяцев хранения.

В зависимости от условий вегетационного периода содержание хлорофилла у неокрашенных яблок всегда больше на теневой стороне, в то время как у окрашенных антоцианами плодов хлорофилла может быть больше и на солнечной стороне. Одной из причин данного различия могут быть температурные условия вегетационного периода. Так, влияние температуры на содержание хлорофилла в кожице неокрашенных плодов показано на изменении содержания хлорофилла на солнечной и теневой сторонах поверхности яблока в течение созревания в саду у сорта Антоновка обыкновенная.

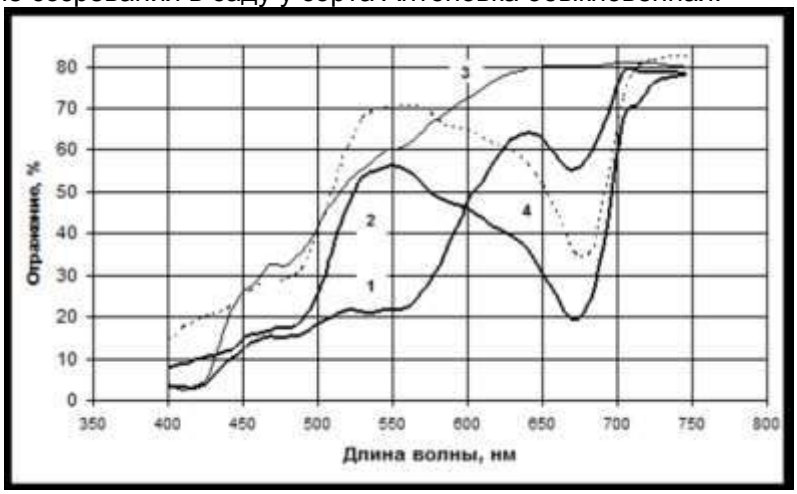


Рисунок 1 – Спектры отражения поверхности окрашенных яблок: 1 – солнечная сторона яблока, 2 – теневая сторона; зеленых яблок: 3 – солнечная сторона яблока, 4 – теневая сторона
Figure 1 – Reflectance spectra of the surface of painted apples:
1 – sunny side of the apple, 2 – shadow side; green apples: 3 – sunny side of the apple, 4 – shadow side

На рисунке 1 показаны спектры отражения поверхности окрашенных антоцианами и зеленых яблок. Видно, что окрашенная сторона яблока имеет большее поглощение света в сине-зеленом диапазоне спектра.

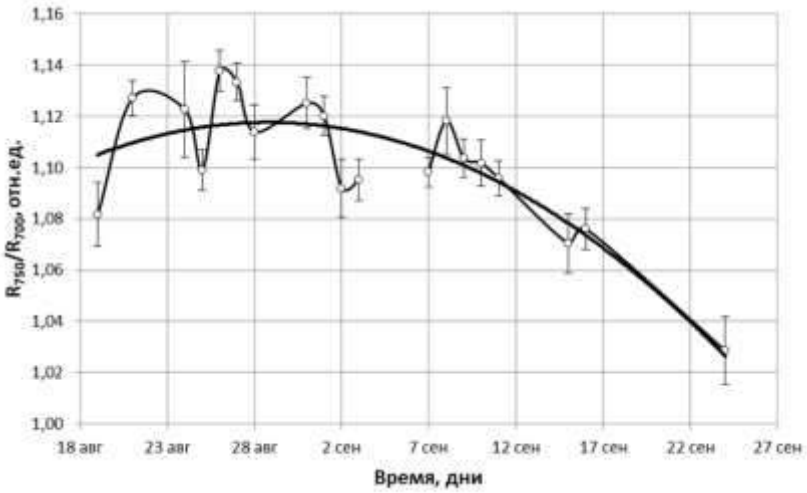


Рисунок 2 – Изменение содержания хлорофилла в кожице яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема в саду. Показана погрешность среднего
Figure 2 – Changes in chlorophyll content in the skin of Antonovka Obyknovennaya apples during harvesting in the orchard. The error of the mean is shown

На рисунке 2 показано изменение коэффициента отражения поверхности яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема в саду. По данному показателю видно периодическое изменение содержания хлорофилла во время роста и созревания в саду, что характеризует как синтез, так и разрушение хлорофилла. Видно, что минимальные колебания около средней линии наблюдаются с 9 по 16 сентября, когда, видимо, замедляются физиологические процессы в плодах. Далее следует перезревание плодов для этого сорта. При достижении значения коэффициента R_{750}/R_{700} = 1,03 загар на яблоках отсутствует (таблица). Следует отметить, что при достижении значения коэффициента R_{750}/R_{700} = 1,00, содержание хлорофилла в кожице яблока практически равно нулю.

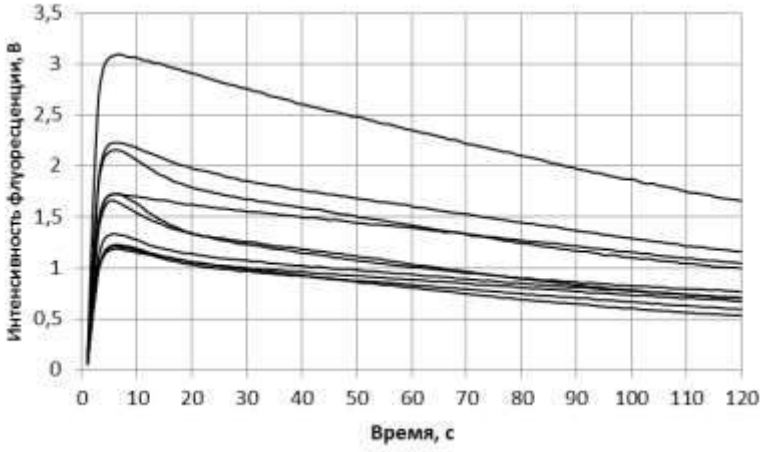


Рисунок 3 – Изменение интенсивности флуоресценции кожицы яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема в саду
Figure 3 – Change in the fluorescence intensity of the skin of Antonovka Obyknovennaya apples during picking in the orchard

Доля влияния хлорофилла на загар в данном случае составляет 69 %. Это показывает, что существуют еще другие факторы, нами не учтенные, которые влияют на загар. И это требует дальнейшего изучения. На рисунке 3 показано изменение интенсивности флуоресценции кожицы яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема

в саду. Видно, что максимальное значение флуоресценции различно у разных яблок, что характеризует различный уровень хлорофилла в разных яблоках. Для оценки фотосинтетической активности хлорофилла в кожице яблок применяют измерение медленной индукции флуоресценции поверхности с последующим пересчетом по формуле $F_a = (F_m – F_o)/F_m$. Данный показатель изменяется от 0 до 1 [6]. При уменьшении показателя фотосинтетическая активность хлорофилла в кожице яблок снижается. Так, влияние температуры вегетационного периода на содержание хлорофилла в кожице неокрашенных плодов (например: Антоновка обыкновенная) показывает, что содержания хлорофилла на солнечной стороне яблока всегда меньше, чем на теневой стороне яблока, независимо от того, какой был год: жаркий или прохладный, в то время, как на окрашенных антоцианами яблоках, например у яблок сорта Кортланд в жаркий 2002 год хлорофилла было больше на теневой стороне (как и у неокрашенных), а в прохладный 2003 год, наоборот: хлорофилла было больше на солнечной стороне яблока. Предполагается, что антоцианины действуют как «эффективная внутренняя ловушка солнечного излучения», предохраняя разрушение хлорофилла [11].

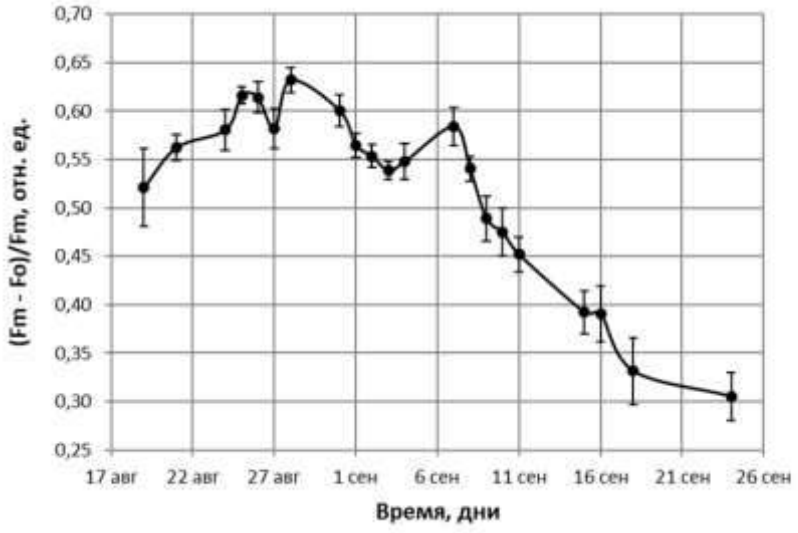


Рисунок 4 – Изменение фотосинтетической активности хлорофилла в кожице яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема в саду. Показана погрешность среднего
Figure 4 – Changes in the photosynthetic activity of chlorophyll in the skin of Antonovka Obyknovennaya apples during harvesting in the orchard. The error of the mean is shown

На рисунке 4 показано изменение коэффициента фотосинтетической активности Fa = (Fm – Fo)/Fm кожицы яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема в саду. Наблюдаются периодические изменения коэффициента во времени. Далее следует гарантированное перезревание плодов для этого сорта. При достижении коэффициентом минимального значения, равного 0,3, загар на яблоках при съеме в саду 23 сентября достигает минимума или отсутствует (таблица). Но в это время, после 20 сентября, увеличивается гниль (рисунок 5), что также показывает, что яблоки перезрели; следовательно, яблоки нужно снимать в саду раньше, например, при достижении коэффициента, равного 0,4, но при этом загар яблок составит 30 %. Таким образом, по фотосинтетической активности хлорофилла, определяемой по индукции медленной флуоресценции хлорофилла, можно определить срок съема яблок в саду, при котором яблоки во время хранения будут иметь минимальное развитие загара, что также позволяет определить оптимальный срок съема яблок в саду. Исключить загар полностью возможно другими методами, например, хранением в регулируемой газовой среде или обработкой 1-метилциклопропеном [9, 10].

Таблица – Загар яблок сорта Антоновка обыкновенная во время хранения.
Дата анализа – февраль 2021 г.
Table – Scald of Antonovka Obyknovennaya apples during storage. Analysis date: February 2021

Дата съема / Date of apple harvest	26 августа / August 26	27 августа / August 27	28 августа / August 28	1 сентября / September 1	2 сентября / September 2	3 сентября / September 3	4 сентября / September 4	7 сентября / September 7
Загар, % / Skin darkening, %	92,5	91,7	85,7	92,0	100,0	93,8	86,7	66,0
Дата съема / Date of apple harvest	8 сентября / September 8	9 сентября / September 9	10 сентября / September 10	11 сентября / September 11	15 сентября / September 15	16 сентября / September 16	23 сентября / September 23	24 сентября / September 24
Загар, % / Skin darkening, %	87,8	79,2	52,9	59,6	29,6	29,4	1,9	0,0

На рисунке 5 показано развитие гнили яблок сорта Антоновка обыкновенная во время хранения в зависимости от срока съема. Видно, что в момент предполагаемого оптимального срока съема гниль яблок отсутствовала. Резкое увеличение гнили после 16 сентября показывает, что начался процесс перезревания яблок, при котором количество гнили увеличивается.

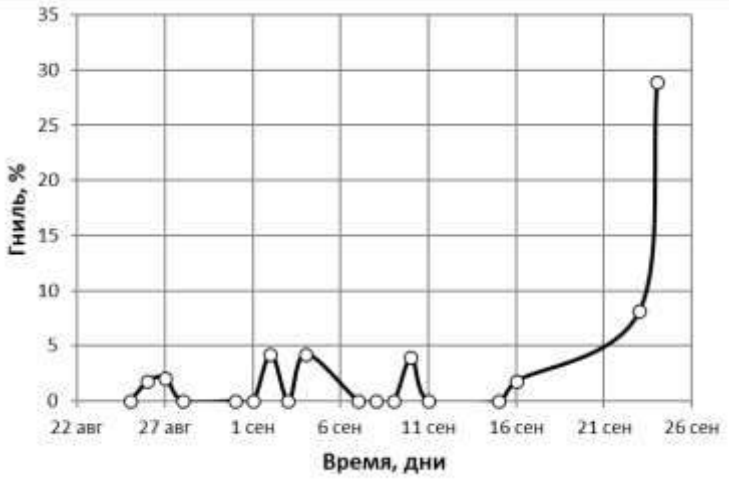


Рисунок 5 – Развитие гнили яблок сорта Антоновка обыкновенная во время хранения в зависимости от срока съема
Figure 5 – Development of rot in Antonovka Obyknovennaya apples during storage depending on the harvesting period

Заключение. Результаты исследований показали, что возможна разработка прибора для измерения коэффициентов отражения R_{750}/R_{700} поверхности или прибора для измерения медленной индукции хлорофилла для определения коэффициента Fa = (Fm – Fo)/Fm.

Определена взаимосвязь содержания хлорофилла в кожице яблок во время съема в саду с развитием их загара во время хранения, равная 69 %.

По изменению коэффициентов отражения R_{750}/R_{700} или показателя фотосинтетической активности хлорофилла Fa в кожице яблок сорта Антоновка обыкновенная во время съема в саду можно определять оптимальный срок съема.

Conclusion. The research results demonstrated the feasibility of developing a device for measuring surface reflectance coefficients R_{750}/R_{700} or a device for measuring slow chlorophyll induction to determine the coefficient Fa = (Fm – Fo)/Fm.

A correlation of 69 % between apple skin chlorophyll during harvesting in the orchard and the development of tan during storage was determined.

The optimal harvesting time can be determined by measuring changes in the R_{750}/R_{700} reflectance coefficients or the photosynthetic activity of chlorophyll Fa in the skin of Antonovka Obyknovennaya apples during harvesting in the orchard.

Библиографический список

1. Nigel E. G., Hertog M. L. A. T. M., Lee J., Buchanan D. A., Leisso R. S., Fei Z., Qu G., Giovannoni J. J., Johnston J. W., Schaffer R. J., Nicolaï B. M., Mattheis J. P., Watkins C. B., Rudell D. R. Delayed response to cold stress is characterized by successive metabolic shifts culminating in apple fruit peel necrosis. BMC Plant Biology. 2017. No 17. Art. 77.
2. Cebulj A., Halbwirth H., Mikulic‑Petkovsek M., Veberic R., Slatnar A. The impact of scald development on phenylpropanoid metabolism based on phenol content, enzyme activity, and gene expression analysis. Horticulture, Environment and Biotechnology. 2020. No 61. Pp. 849-858.
3. Гольцев В. Н., Каладжи Х. М., Паунов М., Баба В., Хорачек Т., Мойски Я., Коцел Х., Аллахвердиев С. И. Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений. Физиология растений. 2016. Т. 63. № 6. С. 881-907.
4. Родиков С. А., Болдырев Д. О. Устройство измерения медленной индукции флуоресценции хлорофилла кожицы яблок. Цифровизация агропромышленного комплекса: сборник научных статей. Тамбов, 2024. Том I. С. 285-287.
5. Родиков С. А. Методы и устройства анализа зрелости яблок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 216 с.
6. Родиков С. А., Бурлаков А. В. Методические аспекты при измерении медленной индукции флуоресценции хлорофилла кожицы яблок. Современное состояние садоводства Российской Федерации, проблемы отрасли и пути их решения: Материалы научно-практической конференции. Тамбов, 2020. С. 109-112.
7. Родиков С. А., Гордеев А. С. Взаимосвязь мокрого ожога яблок сорта Антоновка обыкновенная с их загаром во время хранения. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2023. № 3. С. 155-159.
8. Родиков С. А. Взаимосвязь загара кожицы яблок во время хранения с хлорофиллом в их кожице во время съёма. Научн.-практ. журнал: За Мичуринское плодоводство. 2023. № 2. С. 56-58.
9. Bessemans N., Verboven P., Verlinden B. E., Nicolaï B. M. A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient (RQ-DCA). Postharvest Biology and Technology. 2016. No 115. Pp. 91-102.
10. Tomica N., Radivojevic D., Milivojevic J., Djekic I., Smigic N. Effects of 1-methylcyclopropene and diphenylamine on changes in sensory properties of ‘Granny Smith’ apples during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology. 2016. No 112. Pp. 233-240.
11. Соловченко А. Е., Мерзляк М. Н. Определение содержания хлорофиллов, каротиноидов и антоцианов в плодах по спектрам отражения. Материалы съезда фотобиологов России. Воронеж. 2001. С. 205-206.

References

1. Nigel E. G., Hertog M. L. A. T. M., Lee J., Buchanan D. A., Leisso R. S., Fei Z., Qu G., Giovannoni J. J., Johnston J. W., Schaffer R. J., Nicolaï B. M., Mattheis J. P., Watkins C. B., Rudell D. R. Delayed response to cold stress is characterized by successive metabolic shifts culminating in apple fruit peel necrosis. BMC Plant Biology. 2017. No 17. Art. 77.
2. Cebulj A., Halbwirth H., Mikulic‑Petkovsek M., Veberic R., Slatnar A. The impact of scald development on phenylpropanoid metabolism based on phenol content, enzyme activity, and gene expression analysis. Horticulture, Environment and Biotechnology. 2020. No 61. Pp. 849-858.
3. Goltsev V. N., Kalaj H. M., Paunov M., Baba V., Horachek T., Moyski J., Kocel H., Allahverdiev S. I. Using variable chlorophyll fluorescence to assess the physiological state of the plant photosynthetic apparatus. Plant Physiology. 2016. Vol. 63. No. 6. Pp. 881-907.
4. Rodikov S. A., Boldyrev D. O. Device for measuring slow chlorophyll fluorescence induction of apple skin. Digitalization of the Agro-Industrial Complex: Collection of scientific articles. Tambov, 2024. V. 1. Pp. 285-287.
5. Rodikov S. A. Methods and devices for analyzing apple maturity. Moscow: FIZMATLIT, 2009. 216 p.
6. Rodikov S. A., Burlakov A. V. Methodological aspects in measuring slow chlorophyll fluorescence induction of apple skin. The current state of horticulture in the Russian Federation, problems of the industry and ways to solve them: Proceedings of the scientific and practical conference. Tambov, 2020. Pp. 109-112.
7. Rodikov S. A., Gordeev A. S. Relationship between wet scald of Antonovka Obyknovennaya apples and their sclad during storage. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products. 2023. No. 3. Pp. 155-159.
8. Rodikov S. A. Relationship between apple skin sclad during storage and chlorophyll in their skin at harvest. Scientific and practical journal: for Michurinsk fruit growing. 2023. No. 2. Pp. 56-58.
9. Bessemans N., Verboven P., Verlinden B. E., Nicolaï B. M. A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient (RQ-DCA). Postharvest Biology and Technology. 2016. No 115. Pp. 91-102.
10. Tomica N., Radivojevic D., Milivojevic J., Djekic I., Smigic N. Effects of 1-methylcyclopropene and diphenylamine on changes in sensory properties of ‘Granny Smith’ apples during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology. 2016. No 112. Pp. 233-240.
11. Solovchenko A.E., Merzlyak M.N. Determination of the content of chlorophylls, carotenoids and anthocyanins in fruits by reflectance spectra. Proceedings of the Congress of Photobiologists of Russia. Voronezh. 2001. P. 205-206.

Информация об авторах

Родиков Сергей Афанасьевич, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101); ведущий научный сотрудник, «ФНЦ им. И. В. Мичурина» (Российская Федерация, 393774, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Мичурина, 30.), e-mail: rsa_rih@mail.ru
Болдырев Денис Олегович, аспирант, ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101), e-mail: zarech-tata@mail.ru

Authors' Information
Rodikov Sergey Afanasyevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Michurin State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov region, Michurinsk, Internatsionalnaya Str., 101); Leading Researcher, I. V. Michurin Federal Scientific Center (Russian Federation, 393774, Tambov region, Michurinsk, Michurin Str., 30.), e-mail: rsa_rih@mail.ru
Boldyrev Denis Olegovich, Postgraduate Student, Michurin State Agrarian University (Russian Federation, 393760, Tambov region, Michurinsk, Internatsionalnaya Str., 101), e-mail: zarech-tata@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-60

THE EVALUATION OF THE HAY ROLLS LOADER TRANSPORTERS STABILITY ON THE SLOPES

Ryadnov A. I., Tronev S. V., Fedorov A. V.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

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

Received 22.06.2026 Submitted 25.07.2026

Summary
It was determined that the angle of transverse static stability of the developed baler-conveyor of hay rolls is 36^0; the angle of slope of the field surface acceptable for safe movement (from the point of view of tipping the unit) when moving the baler across the slope with a full load of an additional platform with 4 rolls of hay formed by the PPR-120 "Pelikan" baler, and taking into account the speed the maximum angle of inclination of the field or road when the unit is moving up the slope when loading an additional platform with 4 rolls of hay and the main platform with one roll located at its tailboard, until the start of tipping the picker is 37^0. Calculations have shown that the developed hay roll picker-transporter meets the requirements of GOST in terms of stability on slopes. Some suggestions are given for improving the design of the hay roll picker-transporter, which will increase its stability on slopes.

Abstract
Introduction. The conditions for transporting agricultural goods by road and tractor vehicles in the Russian Federation vary significantly, depending on the terrain, from flat to mountainous. For example, in the Central Chernozem zone, fields with slopes between 20 and 50 make up about 21 %, fields with slopes between 50 and 70 make up 4 %, fields with slopes between 70 and 100 make up 2 %, and fields with dangerous slopes, i.e., slopes of 100 or more, make up 1 %. When using a transport unit on fields and roads with an incline of more than 8.5^0, it is possible to lose both lateral and longitudinal stability, as well as controlability, which can lead to the unit tipping over and causing injuries to the operating personnel. Ensuring the safe operation of transport equipment is a crucial task for design organizations that develop mobile vehicles. The safe use of transport units on fields with a slope of more than 8.5^0 can be ensured by using the developed technical solutions and recommendations obtained as a result of mathematical calculations of the angles of longitudinal and lateral static stability for a specific model and experimental studies. **The purpose of this work** is to assess the stability of the hay roll picker-transporter when working on slopes and to develop technical recommendations for its safe use in fields with slopes exceeding 8.5^0. **Materials and methods.** In preparing this article, the dimensional and mass characteristics of a vehicle for loading, transporting and unloading hay rolls (PTRS-2) designed by the Volgograd State Agrarian University (RF Patent No. 2,833,277. Published on 16.01.2025. Byul. No. 2) and hay rolls formed by the PPR-120 Pelikan baler, the principles of theoretical mechanics for calculating the stability of technical systems on slopes, and the results of experimental studies of the angles of inclination of the hay roll picker-transporter body depending on its speed and the slope angle of the field. **Results and discussion.** Based on the analysis of the system of forces acting on the PTRS-2 in its stationary position, a mathematical dependence was obtained for calculating the normal soil reactions RB on the upper wheels in relation to the base of the slope, which allowed for the calculation of the angle of lateral static stability of the developed PTRS-2. According to the obtained dependence, the required angle is equal to 36^0, which corresponds to the requirements of GOST 12.2.019 – 2005. The limit angle of the field slope has also been determined when the PTRS-2 is moved across the slope with a full load of an additional platform with 4 rolls of hay formed by the PPR-120 Pelikan baler. The angle of inclination of the PTRS-2 relative to the surface of the field or road was taken into account, and it was selected based on experimental data, depending on the slope of the field or road and the speed of the unit. Calculations have shown that the angle of inclination of the field surface, which is acceptable for safe movement (from the point of view of the overturning of the PTRS-2), is equal to 22^0, which corresponds to the requirements of GOST R ISO 4254-1-2011. The calculation of the maximum angle of inclination of the field or road when the PTRS-2 is moving uphill until it begins to tip over backwards has also been performed. In this case, the most dangerous situation is considered, in which the additional platform of the PTRS-2 is fully loaded with four rolls of hay formed by the PPR-120 Pelikan baler, and one roll of hay is placed on the main platform near the rear side. At some point, the tractor's connection to the trailer's hinge is lost. Calculations have shown that the limiting angle of inclination of the field or road when moving the

PTRS-2 up the slope until the moment of its overturning is equal to 37^0, which is acceptable by GOST. Some suggestions are given on the improvement of the design of the PTRS-2, allowing to increase its stability on slopes. **Conclusions.** Calculations and experimental studies have shown that the developed hay bale loader-transporter is stable in a static position in the transverse direction to the slope on slopes with an angle of up to 36^0, which meets the requirements of GOST. Safe movement of the hay bale loader-transporter is possible on slopes of working areas up to 22^0.

Keywords: *hay rolls transportation, stability of agricultural machinery, hay roll pickers, transporter loaders.*

Citation. Ryadnov A. I., Tronev S. V., Fedorov A. V. The evaluation of the hay rolls loader transporters stability on the slopes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 536-545 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-60.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 631.353.3

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОДБОРЩИКА-ТРАНСПОРТИРОВЩИКА РУЛОНОВ СЕНА НА СКЛОНАХ

Ряднов А. И., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Тронев С. В., *доктор технических наук, профессор*
Федоров А. В., *аспирант*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Условия перевозки сельскохозяйственных грузов автомобильным транспортом и тракторными транспортными средствами в Российской Федерации с учетом рельефа местности изменяются существенно: от равнины до гор. Так, например, в Центральной Черноземной зоне поля с уклоном от 2° до 5° составляют около 21 %, с уклоном от 5° до 7° – 4 %, от 7° до 10° – 2 % и с опасными уклонами, т. е. от 10° и более – 1 %. При использовании транспортного агрегата на полях и дорогах с уклоном более $8,5^0$ возможна потеря как поперечной, так и продольной его устойчивости, а также и управляемости, что может привести к опрокидыванию агрегата и к травмам обслуживающего персонала. Обеспечение безопасной работы обслуживающего транспортные агрегаты персонала – важнейшая задача, которая стоит перед конструкторскими организациями – разработчиками мобильных транспортных средств. Безопасное применение транспортных агрегатов на полях с уклоном более 8,5° может быть обеспечено за счет использования разработанных технических решений и рекомендаций, полученных в результате проведения математических расчетов углов продольной и поперечной статической устойчивости на конкретную модель и экспериментальных исследований. ***Цель работы*** – дать оценку устойчивости подборщика-транспортировщика рулонов сена при работе на склонах и разработать технические рекомендации по его безопасному применению на полях с уклоном более 8,5°. **Материалы и методы.** При подготовке настоящей статьи использованы размерно-массовые характеристики транспортного средства для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов сена (ПТРС-2, рисунок 1) конструкции Волгоградского ГАУ (патент РФ № 2 833 277, опубликован 16.01.2025. Бюл. № 2) и рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», положения теоретической механики по расчету устойчивости технических систем на уклонах, а также результаты экспериментальных исследований углов наклона кузова подборщика-транспортировщика рулонов сена, измеряемых специально изготовленным угломером, от скорости его движения и угла уклона поля. **Результаты и обсуждение.** На основе анализа системы сил, действующих на ПТРС-2 при его стационарном положении, в поперечном, относительно уклону, направлении получена математическая зависимость для расчета нормальной реакций почвы R_B на верхние колёса по отношению к основанию уклона, которая позволила получить зависимость для расчета угла поперечной статической устойчивости разработанного ПТРС-2. По полученной зависимости искомый угол равен 36°, что соответствует требованиям ГОСТ 12.2.019 – 2005. Определен также предельный угол уклона поля при перемещении ПТРС-2 поперек уклона с полной загрузкой дополнительной платформы 4 рулонами сена, сформированных пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan». При этом учитывался угол наклона ПТРС-2 относительно поверхности поля или дороги, который был выбран по экспериментальным данным в зависимости от уклона поля или дороги и скорости движения агрегата. Расчеты показали, что допустимый для безопасного движения (с точки зрения опрокидывания ПТРС-2) угол уклона поверхности поля равен 22°, что соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 4254-1-2011. Выполнен также расчет предельного угла уклона поля или дороги при движении ПТРС-2 вверх по уклону до момента начала его опрокидывания назад. При этом рассмотрен наиболее опасный случай, при котором дополнительная платформа ПТРС-2 загружена полностью четырьмя рулонами се-

на, сформированными пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», на основной платформе, у заднего борта размещен один рулон сена и связь трактора в шарнире крепления прицепа в какое-то мгновение потеряна. Расчеты показали, что предельный угол уклона поля или дороги при движении ПТРС-2 вверх по уклону до момента начала его опрокидывания равен 37°, что допустимо ГОСТом. Даны некоторые предложения по усовершенствованию конструкции ПТРС-2, позволяющие повысить его устойчивость на склонах. **Выводы.** Расчеты и экспериментальные исследования показали, что разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена устойчив в статическом положении в поперечном направлению к уклону на уклонах с углом до 36°, что соответствует требованиям ГОСТ. Безопасное движение погрузчика-транспортировщика рулонов сена допустимо на уклонах рабочих участков до 22°. Повысить устойчивость подборщика-транспортировщика рулонов сена на опасных склонах и снизить вероятность его опрокидывания возможно за счет внедрения в конструкцию следующих технических решений: выше роликов дополнительной платформы, симметрично продольной оси, от переднего борта к заднему, на высоте, равной среднестатистическому радиусу рулона сена (в данном случае 0,6 м), смонтировать 2 ограничителя смещения рулонов сена в сторону бокового борта, расположенного ниже по уклону, с высотой каждого 0,2-0,3 м, при этом, расстояние между ограничителями у переднего борта должно быть на 0,5-0,6 м больше длины транспортируемых рулонов сена, а у заднего борта – на 0,2-0,3 м; установкой противовеса с возможностью его перемещения от одного бокового борта к другому в горизонтальной плоскости в сторону, противоположную уклону; внедрения системы автоматического выравнивания основной и дополнительной платформ в горизонтальное положение.

Ключевые слова: *транспортировка рулонов сена, устойчивость сельскохозяйственной техники, подборщики рулонов сена, погрузчики-транспортировщики.*

Цитирование. Ряднов А. И., Тронев С. В., Федоров А. В. Оценка устойчивости подборщика-транспортировщика рулонов сена на склонах. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 536-545. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-60.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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 Российской Федерации транспортировка сельскохозяйственных культур с поля выполняется разнообразными машинами [1, 2, 3, 4, 5] и в различных рельефных условиях от равнины до крутых склонов. Так, автор работы [6] показал, что в Центральной Черноземной зоне поля с уклоном от 2° до 5° составляют около 21 %, с уклоном от 5° до 7° – 4 %, от 7° до 10° – 2 % и с опасными уклонами, т. е. от 10° и более – 1 %.

Поэтому даже на незначительных площадях сельскохозяйственных культур с опасными уклонами при эксплуатации транспортных агрегатов необходимо обеспечить безопасность механизаторов, так как возникает высокая вероятность потери устойчивости в продольном или поперечном направлении движения машин [7]. Кроме того, весьма важно иметь достаточную устойчивость транспортных средств при транспортировке сельскохозяйственных грузов по пересеченной местности – от поля к местам их складирования, хранения или переработки.

Установлено, что потеря поперечной устойчивости возникает у транспортных агрегатов чаще по сравнению с потерей устойчивости в продольном направлении [8]. В соответствии с ГОСТ 12.2.019-2005 «Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности» установлены минимальные углы поперечной статической устойчивости для тракторов транспортной комплектации и колеи. Однако указано, что для конкретной модели угол поперечной статической устойчивости может быть задан по техническим условиям.

Путем математического и имитационного моделирования возможно проверить устойчивость различных машин и агрегатов [9, 10, 11, 12, 13]. Особенно это важно для транспортных машин, в том числе тракторных транспортных агрегатов, которые находятся на стадии испытаний.

Безопасное применение транспортных агрегатов на полях с уклоном более $8,5^0$ может быть обеспечено за счет использования технических рекомендаций, полученных в результате проведения математических расчетов углов продольной и поперечной статической устойчивости для конкретной модели.

Таким образом, оценка устойчивости новых конструкций машин, используемых при транспортировке сельскохозяйственных грузов, в статическом положении и при их движении по полю и по дорогам необходима для безопасности работы механизаторов. Результаты оценки поперечной и продольной устойчивости машин позволят разработать, при необходимости, технические рекомендации по повышению их устойчивости и безопасному применению в сельскохозяйственном производстве.

Цель работы – дать оценку устойчивости подборщика-транспортировщика рулонов сена при работе на склонах и разработать технические рекомендации по его безопасному применению на полях с уклоном более 8,5°.

Объект исследования – подборщик-транспортировщик рулонов сена конструкции Волгоградского ГАУ, оборудованный основной и дополнительной платформами с системой автоматического управления подъемом дополнительной платформы в верхний ярус.

Материалы и методы. При подготовке настоящей статьи использованы размерно-массовые характеристики транспортного средства для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов сена (ПТРС-2, рисунок 1) конструкции Волгоградского ГАУ (патент РФ № 2 833 277, опубликован 16.01.2025. Бюл. № 2) и рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», положения теоретической механики по расчету устойчивости технических систем на уклонах, а также результаты экспериментальных исследований зависимости углов наклона кузова подборщика-транспортировщика рулонов сена от скорости его движения и угла уклона поля. Угол наклона кузова подборщика-транспортировщика рулонов сена при стационарном положении и при движении определялся с точностью 0,5° специально изготовленным угломером.



Рисунок 1 – Транспортное средство для погрузки, перевозки и разгрузки рулонов сена
Figure 1 – Vehicle for loading, transporting, and unloading hay bales

Результаты и обсуждение. Одним из важнейших требований, предъявляемых к машинам сельскохозяйственного назначения, является следующее: углы поперечной статической устойчивости должны быть не менее 30° (ГОСТ 12.2.019-2005 «Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности». М.: Стандартинформ, 2010. 14 с.).

В связи с этим определим угол поперечной статической устойчивости разработанного подборщика-транспортировщика рулонов сена в случае, когда данный подборщик без загрузки рулонами сена установлен на площадке с поперечным уклоном β.

Рассмотрим систему сил, действующих на ПТРС-2 при его стационарном положении, в поперечном, относительно уклона, направлении (рисунок 2).

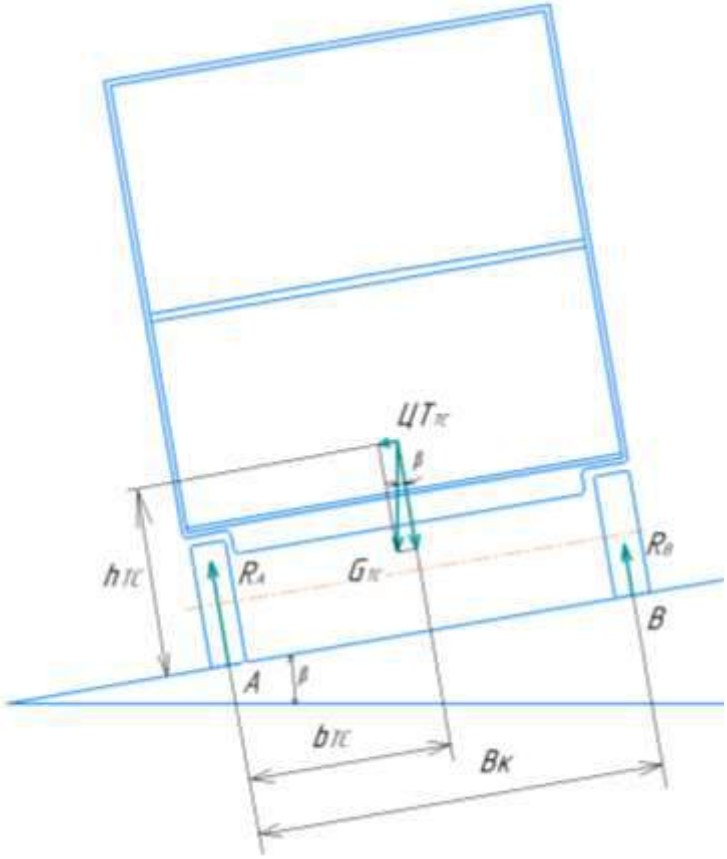


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на подборщик-транспортировщик рулонов сена при стационарном его положении на площадке с поперечным уклоном
Figure 2 – Diagram of forces acting on the hay roll picker-transporter at its stationary position on the site with a transverse slope

На основании системы сил, представленной на рисунке 2, определим зависимость реакции R_B от конструктивных параметров ПТРС-2. Для этого запишем сумму моментов сил относительно точки А:

$$R_B \cdot B\text{к} + G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}} \sin\beta - G_{\text{ТС}}\, b_{\text{ТС}}\, cos\beta = 0, \quad (1)$$

где $G_{\text{ТС}}$ – сила тяжести ПТРС-2, равна 24727 Н; *Вк* – поперечная база тракторной тележки 2ПТС-4,5, м; $h_{\text{ТС}}$ – высота расположения центра тяжести ПТРС-2 (*ЦТ*$_{ТС}$), м; $b_{\text{ТС}}$ – расстояние в параллельном основанию поверхности площадки от центра тяжести ПТРС-2 до точки касания центра опоры нижних колес 2ПТС-4 площадки, м; β – угол уклона поверхности поля или дороги, град.

Из зависимости (1) получим выражение для расчета реакции R_B:

$$R_B = (G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}}\ sin\beta - G_{\text{ТС}}\, b_{\text{ТС}}\ cos\beta)/\ B\text{к}. \quad (2)$$

В соответствии с рисунком 2 начало опрокидывания ПТРС-2 наступит в том случае, если верхние, по отношению к основанию уклона, колёса начнут отрываться от основания, т. е. когда $R_B = 0$.

Тогда, из выражения (2) получим:

$$G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}}\ sin\beta - G_{\text{ТС}}\, b_{\text{ТС}}\ cos\beta = 0 \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет получить зависимость для расчета угла поперечной статической устойчивости разработанного ПТРС-2 в его стационарном положении:

$$\beta = arc\ tg\ (b_{\text{ТС}} / h_{\text{ТС}}). \quad (4)$$

Расчеты показали, что при $h_{\text{ТС}}$ = 1,25 м и $b_{\text{ТС}}$ = 0,9 м угол поперечной статической устойчивости ПТРС-2 β = 36°, что соответствует требованиям ГОСТ 12.2.019-2005.

Однако в реальных условиях эксплуатации разработанного ПТРС-2 может возникнуть ситуация, когда дополнительная платформа (верхний ярус) ПТРС-2 загружена полностью четырьмя рулонами сена, сформированными пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», агрегат движется по уклону поля с определенной скоростью *V* и при этом в связи со сжатием шин колес и рессор ПТРС-2, расположенных ниже по уклону поля (дороги), ПТРС-2 будет наклоняться в сторону уклона на угол χ, который больше, чем угол уклона поля (дороги) *β,* на величину γ. Кроме того, трактор, являющийся энергетическим средством ПТРС-2, перемещается параллельно транспортировщику, ниже по уклону. В этом случае одна из составляющих тягового усилия трактора – $P_{\text{тяг}}$, направленная вниз по уклону, увеличивает угол γ, снижая тем самым устойчивость ПТРС-2. Этот случай можно назвать наиболее вероятным для опрокидывания ПТРС-2 при определенном критическом угле *β.*

Рассмотрим движение агрегата поперек уклона поля при условиях, описанных выше. В этом случае, система сил, действующих на ПТРС-2, представлена на рисунке 3.

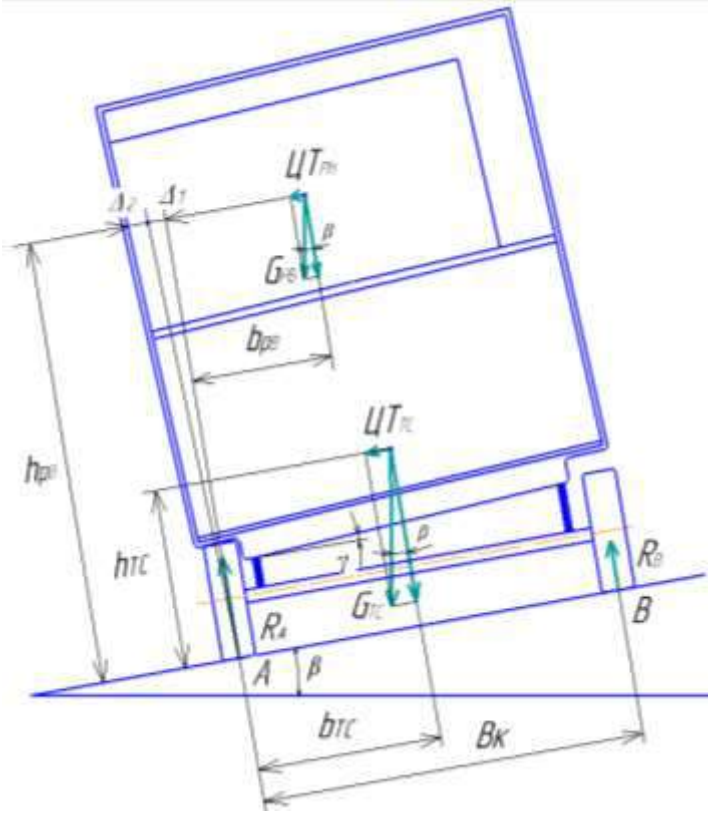


Рисунок 3 – Схема сил, действующих на ПТРС-2 при его движении
в поперечном к уклону направлении
Figure 3 – Diagram of the forces acting on the PTRS-2 during its movement
in a direction transverse to the slope

Определим зависимость реакции R_B от конструктивных параметров ПТРС-2:

$$R_B = [(G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} h_{\text{РВ}})\sin\beta - (G_{\text{ТС}}\, b_{\text{ТС}} + G_{\text{Р}} b_{\text{РВ}})cos\beta]/Bк. \quad (5)$$

где $G_{\text{РВ}}$ – сила тяжести рулонов сена, загруженных на дополнительную платформу, кН; $h_{\text{РВ}}$ – высота расположения центров тяжести рулонов сена на дополнительной платформе, м; $b_{\text{РВ}}$ – расстояния в горизонтальном направлении от центра тяжести рулонов сена до точки касания центра опоры нижних колес 2ПТС-4 площадки, м; $P_{\text{тяг}}$ – составляющая тягового усилия трактора, направленная вниз по уклону, Н; $h_{\text{тяг}}$ – высота точки крепления прицепа на ПТРС-2; γ – угол наклона ПТРС-2 относительно поверхности поля или дороги, град.

Учтем условие начала отрыва верхних, по отношению к основанию уклона, колёс ПТРС-2 от поверхности поля (дороги): $R_B = 0$. В этом случае из зависимости (5) получим:

$$(G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} h_{\text{РВ}})\sin\beta - (G_{\text{ТС}}\, b_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} b_{\text{РВ}})cos\beta = 0. \quad (6)$$

Из выражения (6) определим предельный угол уклона поля для перемещения ПТРС-2 с полной загрузкой дополнительной платформы рулонами сена:

$$\beta = arc\ tg\ \frac{(G_{\text{ТС}}\, b_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} b_{\text{РВ}})}{(G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} h_{\text{РВ}})}. \quad (7)$$

Для расчета угла β необходимо знать значения показателей, входящих в зависимость (7). Значения ряда показателей даны выше. Сила тяжести от 4 рулонов сена, сформированных пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», загруженных на верхний ярус, равна $G_{\text{РВ}}$ = 9732 Н (масса одного рулона сена $m_{\text{р}}$ = 248 кг). Высота расположения центра тяжести рулонов сена верхнего яруса $h_{\text{РВ}}$ = 3,03 м.

Расстояние в направлении, параллельном основанию поверхности площадки, от центра тяжести рулонов сена верхнего яруса до точки касания центра опоры нижних колес 2ПТС-4 площадки определим по зависимости:

$$b_{\text{РВ}} = \frac{L_{\text{Р}}}{2} - \Delta 1 - \Delta 2 = \frac{L_{\text{Р}}}{2} - h_{\text{РВ}}\, \text{tg}\gamma - \left(\frac{B_{\text{куз.}}}{2} - \frac{B_{\text{К}}}{2}\right), \quad (8)$$

где $L_{\text{Р}}$ = 1,20 м – длина рулона сена, $B_{\text{куз.}}$ = 2,22 м – внутренняя ширина платформы ПТРС-2; $B_{\text{К}}$ = 1,8 м – поперечная база тракторной тележки 2ПТС-4,5.

Угол наклона ПТРС-2 относительно поверхности поля или дороги – γ выберем по экспериментальным данным (рисунок 4).

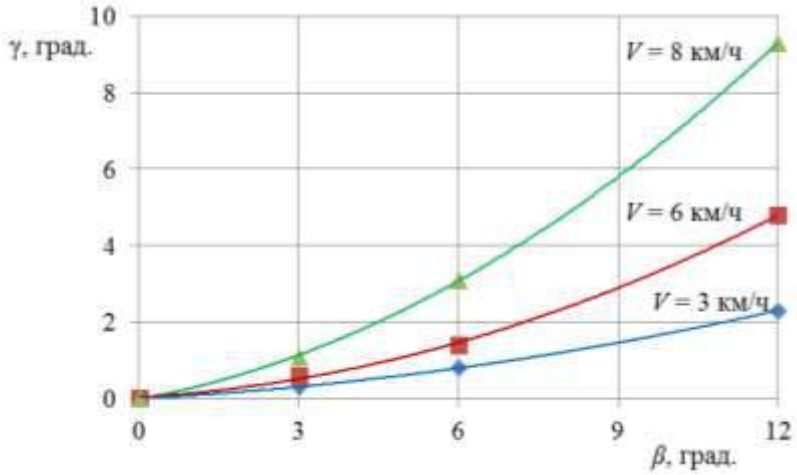


Рисунок 4 – Зависимость угла наклона кузова ПТРС-2 от угла уклона поля и скорости движения ПТРС-2
Figure 4 – Dependence of the tilt angle of the PTRS-2 body on the slope angle of the field and the speed of the PTRS-2

Исследования использования ПТРС-2 в реальных условиях показали, что среднестатистическая рабочая скорость на подборе рулонов сена *V* = 6 км/ч. Кроме того, в ГОСТ (ГОСТ Р ИСО 4254-1-2011 «Машины сельскохозяйственные. Требования безопасности. Часть 1. Общие требования». М.: Стандартинформ. 2012. 32 с.) зафиксировано, что машины должны быть сконструированы таким образом, чтобы их устойчивость сохранялась при расположении на твердой почве с уклоном до 8,5° в любом направлении. Исходя из отмеченного и экспериментальным данным (рисунок 3), принимаем, что γ = 3°.

Тогда, $b_{\text{РВ}}$ = 0,6 – 3,03 · tg3° – (1,11 – 0,9) = 0,23 м.

По зависимости (7) рассчитан допустимый для безопасного движения (с точки зрения опрокидывания ПТРС-2) угол уклона поверхности поля, который равен β = 22°, что соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 4254-1-2011.

Допустимый для безопасного движения подборщика-транспортировщика рулонов сена ПТРС-2 угол уклона поверхности поля или дороги при полной загрузке рулонами сена дополнительной платформы можно увеличить путем внесения следующих конструктивных изменений: выше роликов дополнительной платформы, симметрично продольной оси, от переднего борта к заднему, на высоте, равной среднестатистическому радиусу рулона сена (в данном случае 0,6 м), смонтировать 2 ограничителя смещения рулонов сена в сторо-

ну бокового борта, расположенного ниже по уклону, с высотой каждого 0,2-0,3 м; при этом, расстояние между ограничителями у переднего борта должно быть на 0,5-0,6 м больше длины транспортируемых рулонов сена, а у заднего борта – на 0,2-0,3 м. В этом случае рулоны сена будут уложены ближе к продольной оси дополнительной платформы и не будут упираться в боковой борт ПТРС-2, расположенный ниже по уклону, чем противоположный борт. Центр тяжести рулонов верхнего яруса также сместится в сторону продольной оси, что приведет к увеличению допустимого для безопасного движения ПТРС-2 угла уклона поверхности поля или дороги.

Рассмотрим второе направление движения ПТРС-2 – вверх по склону.

В этом направлении движения агрегата рассмотрим наиболее опасный случай, при котором дополнительная платформа ПТРС-2 загружена полностью четырьмя рулонами сена, сформированными пресс-подборщиком ППР-120 «Pelikan», на основной платформе, у заднего борта размещен один рулон сена и связь трактора в шарнире крепления прицепа в какое-то мгновение потеряна.

На рисунке 5 представлена схема сил, действующих на ПТРС-2, при его движении вверх по склону.

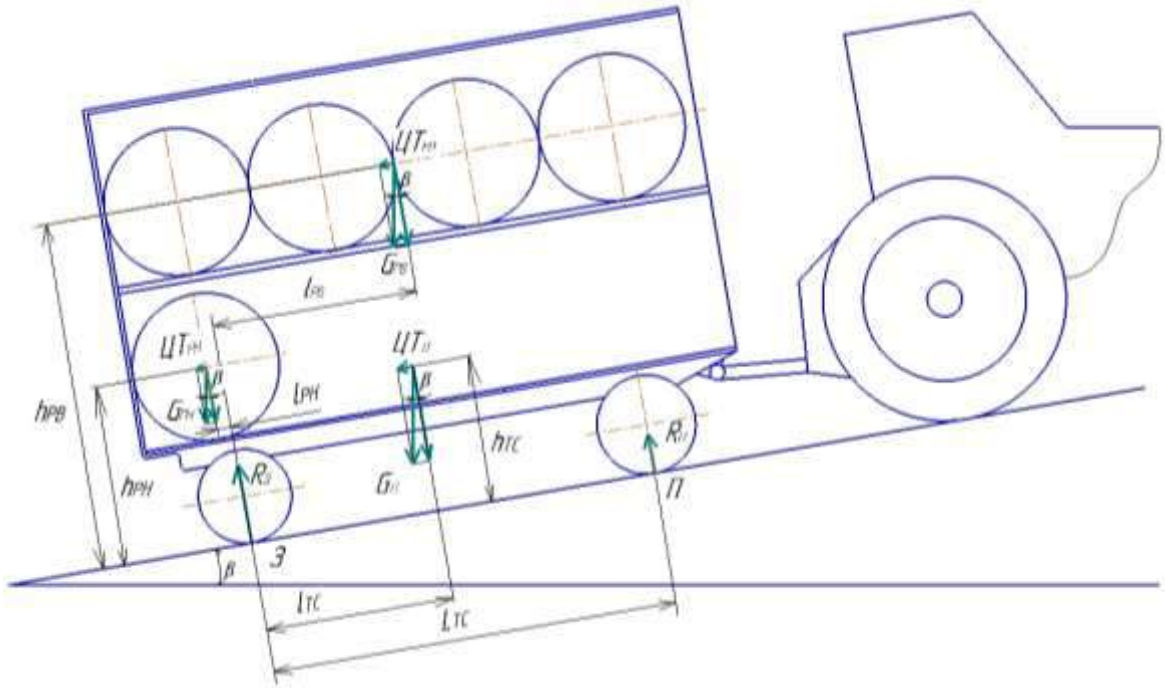


Рисунок 5 – Схема сил, действующих на ПТРС-2 при его движении в продольном к склону направлении
Figure 5 – Diagram of forces acting on the loading vehicle-2 during its movement in the direction of the slope

Начало отрыва передних колес (передние колеса обозначены буквой *П*, а задние – *З*) ПТРС-2 сена наступит в том случае, если $R_П = 0$.

В соответствии с рисунком 5 получим:

$$(G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} h_{\text{РВ}} + G_{\text{РН}} h_{\text{РН}})\sin\beta - (G_{\text{ТС}}\, l_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} l_{\text{РВ}} - G_{\text{РН}} l_{\text{РН}})cos\beta = 0. \qquad (9)$$

Из зависимости (9) получим:

$$\beta = arc\, tg\, \frac{G_{\text{ТС}}\, l_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} l_{\text{РВ}} - G_{\text{РН}} l_{\text{РН}}}{G_{\text{ТС}}\, h_{\text{ТС}} + G_{\text{РВ}} h_{\text{РВ}} + G_{\text{РН}} h_{\text{РН}}}\,. \qquad (10)$$

При $h_{\text{ТС}}$ = 1,25 м, $l_{\text{ТС}}$ = 1,35 м, $h_{\text{РВ}}$ = 3,03 м, $l_{\text{РВ}}$ = 1,65 м, $h_{\text{РН}}$ = 1,59 м, $l_{\text{РН}}$ = 0,15 м получим, что β = 37°.

Таким образом, предельный угол уклона поля или дороги при движении ПТРС-2 до момента начала его опрокидывания выше допустимого, установленного ГОСТом.

Экспериментальные исследования подтвердили, что исследуемый подборщик-транспортировщик рулонов сена устойчив как в поперечном, так и в продольном направлении на уклонах местности, соответствующих расчетным значениям.

Повысить устойчивость машин при работе на дорогах со значительными уклонами «возможно за счет внедрения новых конструкторских решений, например, установкой противовеса с набором сменных грузов с возможностью их перемещения в горизонтальной плоскости» [14, 15]. Снизить вероятность опрокидывания подборщика-транспортировщика рулонов сена на опасных склонах возможно также за счет усовершенствования его конструкции путем внедрения системы автоматического выравнивания основной и дополнительной платформ в горизонтальное положение.

Выводы. Расчеты и экспериментальные исследования показали, что разработанный погрузчик-транспортировщик рулонов сена устойчив в статическом положении в поперечном направлении на уклонах с углом до 36°, что соответствует требованиям ГОСТ. Безопасное движение погрузчика-транспортировщика рулонов сена допустимо на уклонах рабочих участков до 22°. Повысить устойчивость подборщика-транспортировщика рулонов сена на опасных склонах и снизить вероятность его опрокидывания возможно за счет внедрения в конструкцию следующих технических решений: выше роликов дополнительной платформы, симметрично продольной оси, от переднего борта к заднему, на высоте, равной среднестатистическому радиусу рулона сена (в данном случае 0,6 м), смонтировать два ограничителя смещения рулонов сена в сторону бокового борта, расположенного ниже по уклону, высотой 0,2-0,3 м каждый, при этом, расстояние между ограничителями у переднего борта должно быть на 0,5-0,6 м больше длины транспортируемых рулонов сена, а у заднего борта – на 0,2-0,3 м; установкой противовеса с возможностью его перемещения от одного бокового борта к другому в горизонтальной плоскости в сторону, противоположную уклону; внедрения системы автоматического выравнивания основной и дополнительной платформ в горизонтальное положение.

Conclusions. Calculations and experimental studies have shown that the developed hay bale loader-transporter is stable in a static position in the transverse direction to the slope on slopes with an angle of up to 36^0, which meets the requirements of GOST. Safe movement of the hay bale loader-transporter is possible on slopes of working areas up to 22^0. It is possible to increase the stability of the hay baler on dangerous slopes and reduce the likelihood of its overturning by introducing the following technical solutions into the design: above the rollers of the additional platform, symmetrically along the longitudinal axis, from the front to the rear, at a height equal to the average radius of the hay roll (in this case 0.6 m), mount 2 displacement limiters hay rolls towards the side located below the slope, with a height of 0.2-0.3 m each, while the distance between the limiters at the front side should be 0.5-0.6 m longer than the length of the transported hay rolls, and at the rear side by 0.2-0.3 m; installing a counterweight with the possibility of moving it from one side to the other in a horizontal plane in the direction opposite to the slope; the introduction of an automatic leveling system for the main and additional platforms in a horizontal position.

Библиографический список

1. Лимаренко Н. В, Давыдова С. А., Алмазов И. В. Анализ использования грузоподъемности транспортных средств на перевозке рулонов сена. Известия НВ АУК. 2026. № 2 (86). С. 450-464.

2. Кучер А. В., Кривуца З. Ф., Кузнецов Е. Е., Михайлов А. В., Шуравин А. А. Метод оценки эффективности использования автомобильного транспорта. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 3 (113). С. 119-123.

3. Щитов С. В., Кривуца З. Ф., Поликутина Е. С., Ковшун А. А., Щитова В. А. Повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов в АПК. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 5 (115). С. 106-110.

4. Щитов С. В., Кривуца З. Ф., Поликутина Е. С., Ковшун А. А., Щитова В. А. Повышение эффективности использования энергетических средств при транспортировке грузов полуприцепами. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2025. № 4 (114). С. 106-110.

5. Кушнарев А. Н., Леонов В. В., Шуравин А. А. и др. Результаты исследований по использованию тракторных агрегатов на технологических работах. АгроЭкоИнфо. 2022. № 1 (49).

6. Ворохобин А. В. Повышение устойчивости движения колёсного трактора корректированием вертикальных нагрузок на колёса. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (67). С. 63-72.

7. Студенникова Н. С. Виды и причины травмирования с тяжелыми последствиями трактористов-машинистов в сельском хозяйстве. Вестник сельского развития и социальной политики. 2018. № 1 (17). С. 66-70.

8. Щитов С. В., Кривуца З. Ф., Поликутина Е. С., Ковшун А. А., Щитова В. А. Влияние прицепных сельскохозяйственных агрегатов на продольную устойчивость. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 208. С. 79-87.

9. Абишев К. К., Асылова К. Б. Определение продольной устойчивости полугусеничной тягово-транспортной машины. Наука и техника Казахстана. 2023. № 3. С. 233-241.

10. Пицхелаури Ш. Н. Результаты математического и имитационного моделирования устойчивости трицикла против опрокидывания на косогоре. Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 3. С. 418-425.

11. Жулай В. А., Нилов В. А., Тюнин В. Л., Щиенко А. Н. Путевая устойчивость двухосной колесной землеройно-транспортной машины при внецентренном нагружении. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 1. С. 521-527.

12. Щиголев С. В., Ломакин С. Г. Анализ возможности расчёта угла поперечной статической устойчивости для самоходных сельскохозяйственных машин. Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В. П. Горячкина». 2020. № 1 (95). С. 29-35.

13. Щиголев С. В., Ломакин С. Г. Экспериментально-аналитическая методика определения угла поперечной статической устойчивости машин с балансирной подвеской моста управляемых колес. Агроинженерия. 2021. № 1 (101). С. 45-52.

14. Ряднов А. И., Курахтенков А. К. Повышение устойчивости сорго уборочного комбайна при работе на склонах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 480-489.

15. Федорова О. А., Ряднов А. И., Мурог И. А., Курахтенков А. К. Улучшение некоторых эксплуатационных показателей сорго уборочного комбайна при работе на склонах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 463-472.

References

1. Limarenko N. V., Davydova S. A., Almazov I. V. Analysis of the use of vehicle load capacity for transporting hay bales. Proceeding of the NV AUC. 2026. No 2 (86). Pp. 450-464.

2. Kucher A. V., Krivutsa Z. F., Kuznetsov E. E., Mikhailov A. V., Shuravin A. A. Method for assessing the efficiency of using road transport. Proceeding of the Orenburg State Agrarian University. 2025. No 3 (113). Pp. 119-123.

3. Shchitov S. V., Krivutsa Z. F., Polikutina E. S., Kovshun A. A., Shchitova V. A. Increasing the Efficiency of Using Tractor-Transport Units in the Agro-Industrial Complex. Proceeding of the Orenburg State Agrarian University. 2025. No 5 (115). Pp. 106-110.

4. Shchitov S. V., Krivutsa Z. F., Polikutina E. S., Kovshun A. A., Shchitova V. A. Increase in the efficiency of the use of energy means in the transportation of goods by semi-trailers. Proceeding of the Orenburg State Agrarian University. 2025. No 4 (114). Pp. 106-110.

5. Kushnarev A. N., Leonov V. V., Shuravin A. A. et al. Results of research on the use of tractor units in technological operations. AgroEcoInfo. 2022. No 1 (49).

6. Vorokhobin A. V. Improving the stability of a wheeled tractor by adjusting the vertical loads on the wheels. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2020. No 4 (67). Pp. 63-72.

7. Studennikova N. S. Types and causes of injuries with severe consequences of tractor drivers in agriculture. Bulletin of rural development and social policy. 2018. No 1 (17). Pp. 66-70.

8. Shchitov S. V., Krivutsa Z. F., Polikutina E. S., Kovshun A. A., Shchitova V. A. Influence of Tied-On Agricultural Units on Longitudinal Stability. Politematic Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2025. No 208. Pp. 79-87.

9. Abishev K. K., Asylova K. B. Determination of longitudinal stability of a semi-tracked traction and transport machine. Science and Technology of Kazakhstan. 2023. No 3. Pp. 233-241.

10. Pitskhelauri Sh. N. Results of mathematical and simulation modeling of the stability of a tricycle against overturning on a slope. /Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University. 2020. No 3. Pp. 418-425.

11. Zhulai V. A., Nilov V. A., Tyunin V. L., Shchienko A. N. Travel stability of a two-axle wheeled earth-moving and transport machine under off-center loading. Proceeding of the Tula State University. Technical Sciences. 2024. No 1. Pp. 521-527.

12. Shchigolev S. V., Lomakin S. G. Analysis of the possibility of calculating the angle of lateral static stability for self-propelled agricultural machines. Proceeding of the FGOU VPO "MGAU named after V. P. Goryachkin". 2020. No 1 (95). Pp. 29-35.

13. Shchigolev S. V., Lomakin S. G. Experimental and analytical method for determining the angle of lateral static stability of machines with a balance suspension of the driven wheel bridge. Agricultural engineering. 2021. No 1 (101). Pp. 45-52.

14. Ryadnov A. I., Kurakhtenkov A. K. Improving the stability of a sorghum harvester when working on slopes. Proceeding of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 2 (70). Pp. 480-489.

15. Fedorova O. A., Ryadnov A. I., Murog I. A., Kurakhtenkov A. K. Improvement of some operational indicators of a sorghum harvester when working on slopes. Proceeding of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 1 (69). Pp. 463-472.

Информация об авторах

Ряднов Алексей Иванович, Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2364-4944, e-mail: alex.rjadnov@mail.ru

Тронев Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: 0000-0002-5840-322X, e-mail: stronev@mail.ru

Федоров Алексей Валерьевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6891-5459, e-mail: alex_fedorow_97@mail.ru

Authors' Information

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

Tronev Sergey Viktorovich, Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University, (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID:0000-0002-5840-322X, e-mail: stronev@mail.ru

Fedorov Aleksey Valerievich, graduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6891-5459, e-mail: alex_fedorow_97@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-61

THE INCREASING OF THE PLOUGH UNITS' USAGE EFFICIENCY WITH THE 50-75 KW CAPACITY TRACTORS

[1]Startsev S. V, [2]Nekhoroshev D. A.

[1]Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kingofscience@yandex.ru

Received 02.04.2026 Submitted 19.06.2026

Abstract

Introduction. In Russia, wheeled tractors of the 1.4 traction classes with a power of 50 to 75 kW, are widely used. These include Belarus tractors from MTZ, as well as tractors from John Deere, New Holland, Case IH, Massey Ferguson, Challenger, and other companies. Tractors are equipped with three-body ploughs with a working width of 1.05-1.5 m. During ploughing, the tractor moves with one side of its wheels in the open furrow and the other side on the stubble background of the field. As a result, the traction properties of the vehicle deteriorate, the bottom of the furrow becomes compacted, and the soil structure is disrupted, affecting crop yields. Thus, an important area of research in the technology of basic ploughing is the development of a wide-area plough for tractors with a power of 50-75 kW, which allows the tractor to move on an unworked field with all its wheels. The purpose of this work is to analyze the technical characteristics of 50-75 kW tractors and develop a general-purpose plow for their use in plowing operations, which improves the operational and energy performance of the units. **Methods and materials.** Based on the theory of calculating agricultural machines and the production operation of the machine and tractor fleet, the results of testing foreign tractors by the Nebraska Tractor Test Laboratory in the United States, and the test data of MTZ tractors, PLN-3-35 ploughs, and the proposed PBS-3 at the Federal State Budgetary Institution Povolzhskaya MIS, an analysis of assembled plough units was conducted. A comparative assessment of the efficiency of the units during the main tillage is given. **Research results.** The dependence of the tractors' traction force and the resistance of the three-body PLN-3-35 plough on the speed of movement had been obtained. A new plough body with increased working width has been developed, and the arrangement of the new bodies on the main frame beam allows for a significant reduction in the length of the plough while increasing its working width to 1.8 m. The design width of the new PBS-3 plough with three bodies is 41.6 % wider than the design width of the PLS-3-35 plough. This design and technological solution eliminates the need for tractors with the PBS-3 plough to move in an open furrow. The calculation of the efficiency of plough units and the construction of a diagram allowed for the analysis of the use of 50-75 kW tractors with known and developed ploughs. Theoretical and experimental dependencies of the energy intensity of soil cultivation on the speed of movement have shown that the energy intensity of the MTZ-82+PLN-3-35 process is 3.7-18.8 % higher than that of the MTZ-82+PBS-3. **Conclusions.** An analysis of the technical characteristics of tractors with an engine power of 50 to 75 kW showed that the traction force at an operating speed of 2.0-2.2 m/s varies from 14.2 to 21.3 kN. This has affected the traction and coupling properties of the units, as the units with the PLN-3-35 plough have an efficiency of 0.51-0.69, while the units with the PBS-3 wide-area plough have an efficiency of 0.68-0.82. The results of experimental studies of the PBS-3 mounted three-body plough with a working width of 1.8 m and a MTZ-82 tractor have been obtained, confirming the low energy consumption of the plough unit and being consistent with the calculated values.

Keywords: *ploughing units, wheeled tractors, wide-width ploughs, tractors technical specifications.*

Citation. Startsev S. V, Nekhoroshev D. A. The increasing of the plough units' usage efficiency with the 50-75 kW capacity tractors. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 546-554 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-61.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 631.31+631.372

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАХОТНЫХ АГРЕГАТОВ С ТРАКТОРАМИ МОЩНОСТЬЮ 50-75 КВТ

[1]Старцев С. В., *доктор технических наук, профессор*
[2]Нехорошев Д. А., *доктор технических наук, профессор*

[1] ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова
г. Саратов, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В России широко распространены колесные тракторы тягового класса 1,4 мощностью от 50 до 75 кВт. Среди них тракторы серии «Беларус» МТЗ, а также компаний John Deere, New Holland, Case IH, Massey Ferguson, Challenger и др. Тракторы агрегатируют с загонными

или оборотными трехкорпусными плугами шириной захвата 1,05-1,5 м. При отвальной пахоте трактор движется одной стороной колес в открытой борозде, другой – по стерневому фону поля. В результате ухудшаются тягово-сцепные свойства энергетического средства, происходит уплотнение дна борозды, нарушается структура почвы, что отражается на урожайности культур. Таким образом, важным направлением в исследовании технологии основной отвальной обработки почвы является разработка широкозахватного плуга к тракторам мощностью 50-75 кВт, позволяющего двигаться трактору всеми колесами по необработанному полю. **Целью работы** является анализ технических характеристик тракторов мощностью 50-75 кВт и разработка плуга общего назначения для их использования на пахотных работах, повышающего эксплуатационно-энергетические показатели агрегатов. **Материалы и методы.** На основе теории расчета сельскохозяйственных машин и производственной эксплуатации машинно-тракторного парка, результатов испытаний иностранных тракторов лабораторией Nebraska Tractor Test (США), данных испытаний тракторов МТЗ, плугов ПЛН-3-35 и предложенного ПБС-3 на ФГБУ «Поволжская МИС» проведен анализ скомплектованных пахотных агрегатов. Дана сравнительная оценка агрегатов по уровню КПД на основной обработке почвы. **Результаты исследований.** Получены зависимости тягового усилия тракторов и сопротивления трехкорпусного плуга ПЛН-3-35 от скорости движения. Разработан новый корпус плуга с увеличенной шириной захвата; расстановка новых корпусов на основном брусе рамы позволяет значительно снизить длину плуга при увеличении ширины захвата до 1,8 м. Конструктивная ширина захвата нового плуга ПБС-3 с тремя корпусами на 41,6 % больше ширины захвата лемешно-отвального плуга ПЛН-3-35. Конструктивно-технологическое решение позволяет исключить движение тракторов с плугом ПБС-3 в открытой борозде. Расчет КПД пахотных агрегатов и построение диаграммы позволили сделать анализ использования тракторов мощностью 50-75 кВт с известным и разработанным плугами. Теоретическими и экспериментальными зависимостями энергоемкости обработки почвы от скорости движения установлено, что энергоемкость процесса МТЗ-82 + ПЛН-3-35 на 3,7-18,8 % выше, чем у МТЗ-82 + ПБС-3. **Выводы.** Анализ технических характеристик тракторов с мощностью двигателя от 50 до 75 кВт показал, что тяговое усилие при рабочей скорости движения пахотных агрегатов 2,0-2,2 м/с варьирует от 14,2 до 21,3 кН. Это повлияло на тягово-сцепные свойства агрегатов, так при коэффициенте использования сцепного веса 0,36-0,58, агрегаты с плугом ПЛН-3-35 показывают уровень КПД 0,51-0,69, агрегаты с широкозахватным плугом ПБС-3 – КПД 0,68-0,82. Получены результаты экспериментальных исследований навесного трехкорпусного плуга ПБС-3 шириной захвата 1,8 м с трактором МТЗ-82, подтверждающие низкие энергозатраты пахотного агрегата и согласующиеся с расчетными значениями.

Ключевые слова: *пахотные агрегаты, колесные тракторы, широкозахватные плуги, технические параметры тракторов.*

Цитирование. Старцев С. В., Нехорошев Д. А**.** Повышение эффективности использования пахотных агрегатов с тракторами мощностью 50-75 кВт. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 546-554. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-61.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Для вспашки зяби небольших площадей, полей неправильной конфигурации и с короткими гонами требуются маневренные пахотные агрегаты. При комплектовании таких агрегатов применяют колесные тракторы тягового класса 1,4, мощность двигателя которых варьирует от 50 до 75 кВт [1, 2, 3]. В России широко распространены тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82 и их более современные модификации: тракторы серии «Беларус» МТЗ-892, МТЗ-922 и МТЗ-1025 [1]. Также используются сельскохозяйственные тракторы иностранных компаний John Deere 5085/5095 [4], New Holland TD5030/5050 [5], Case IH JX 100U/090U [6], Massey Ferguson 4225/4270, Challenger MT425/445, Claas Axos 340, Deutz-Fahr Agrolux 4.80 и др. [7]. Технические характеристики некоторых тракторов представлены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что мощность двигателя у всех тракторов практически одинакова и в среднем составляет 60 кВт. У всех тракторов, кроме МТЗ-80, имеется полный привод на все колеса. Полный привод позволяет развивать более высокое тяговое усилие, что подтверждается коэффициентом использования сцепного веса ($\varphi_{сц}$ = 0,39 МТЗ-80). Аналогично показателям мощности распределяется эксплуатационная масса тракторов, которая варьирует от 3 450 кг до 4 225 кг. Самая большая масса у трактора Massey Ferguson, но это не является главным фактором роста тяговых свойств. Наибольший коэффициент использования сцепного веса у тракторов New Holland TD 5030 ($\varphi_{сц}$ = 0,58) и МТЗ-82 ($\varphi_{сц}$ = 0,52). Также на тягово-сцепные показатели пахотных агрегатов, скомплектованных из тракторов тягового класса 1,4 с известными плугами, влияют условия

эксплуатации. При отвальной пахоте они движутся одной стороной колес трактора в открытой борозде, а другой стороной – по стерневому фону поля [8]. По показателю энергонасыщения видно, что наиболее энергонасыщенными тракторами из исследуемых являются Massey Ferguson 4225 и Challenger MT425. Остальные тракторы при различном коэффициенте использования сцепного веса практически равны по энергонасыщенности (от 15,0 до 17,0 кВт/т). Как следует из тягово-сцепных и энергетических показателей тракторов мощностью 50-75 кВт, все энергетические средства применимы при выполнении пахотных работ в растениеводстве.

Таблица 1 – Основные технические параметры тракторов мощностью 50-75 кВт
Table 1 – Main technical parameters of tractors with a power of 50-75 kW

Наименование / Parameter	Марка трактора / Tractor brand						
	John Deere 5085	Case IH Farmall JX 90U	Massey Ferguson 4225	Challenger MT 425	New Holland TD 5030	МТЗ-80	МТЗ-82
Мощность, кВт (л.с.) / Power, kW (hp)	56(76)	66(88)	75(102)	60(83)	54(74)	44(60)	60(81)
Колесная формула / Wheel formula	4WD	4WD	4WD	4WD	4WD	4K2	4K4
Эксплуатационная масса, кг / Operating weight, kg	3450	3960	4131	3460	3654	3700	4000
Рабочая скорость, м/с / Тяговое усилие, кН / Operating speed, m/s / Traction force, kN	2,0 / 14,3	2,0 / 18,4	2,2 / 14,7	2,2 / 14,7	2,0 / 21,3	2,4/ 13,5	2,2/ 15,2
Тяговая мощность, кВт / Traction power, kW	29,8	38,3	32,3	32,3	43,2	32,4	33,4
Коэффициент использования сцепного веса / Traction weight utilization factor	0,41	0,46	0,36	0,42	0,58	0,39	0,52
Энергонасыщенность, кВт/т / Energy density, kW/t	16,2	16,7	18,2	17,3	14,8	11,9	15,0

С тракторами мощностью 50-75 кВт агрегатируют загонные или оборотные трехкорпусные плуги [8-12]. Применяемые лемешно-отвальные плуги отечественного и зарубежного производства практически не отличаются. Имеется некоторое увеличение ширины захвата корпуса до 45-50 см, применяется оборотная схема рамы плуга. В таблице 2 приведены технические характеристики некоторых лемешно-отвальных плугов.

Таблица 2 – Технические характеристики трехкорпусных плугов
Table 2 – Technical characteristics of three-body plows

Показатели / Indicators	ПЛН-3-35	Euro Opal 3 Lemken	RG 3 Gregoire Besson	150 BV Kverneland	Master 103. Kuhn
Тип машины / Machine type	Навесной / Mounted	Навесной / Mounted	Навесной / Mounted	Навесной / Mounted	Навесной / Mounted
Ширина захвата, м / Capture width, m	1,05	0,9-1,35	1,05-1,35	1.05-1.5	1.05-1.5
Количество корпусов: - правооборачивающих - левооборачивающих / Number of hulls: - right-turning - left-turning	 3 - 	 3 3 	 3 3 	 3 3 	 3 3
Ширина захвата корпуса, м / Hull capture width, m	35	30-45	35-45	35-50	35-40
Масса, кг / Weight, kg	470	770	1160	890	1045

При отвальной пахоте с такими плугами трактор движется одной стороной колес в открытой борозде, другой стороной по стерневому фону поля. В результате ухудшаются тягово-сцепные свойства энергетического средства, происходит уплотнение дна борозды, нарушается структура почвы, отражающаяся на урожайности культур. Тракторист находится в процессе многочасовой работы в наклоненном положении.

Цель работы – проанализировать технические характеристики наиболее распространенных в России сельскохозяйственных тракторов мощностью 50-75 кВт и для их эффективного использования на пахотных работах, предложить плуг общего назначения, повышающего эксплуатационно-энергетические показатели агрегатов.

Материалы и методы исследования. Теоретические исследования проводились на основе расчетов сельскохозяйственных машин и данных производственной эксплуатации машинно-тракторного парка. Для достижения поставленной цели использовались: 1) графические зависимости эксплуатационных показателей тракторов МТЗ-80 и МТЗ-82 при работе на стерневом фоне [12]; 2) результаты испытаний лабораторией Nebraska Tractor Test (США) тракторов Case IH Farmall JX 100U, John Deere 5095, Massey Ferguson 4225, Challenger MT425, New Holland TD 5030 [7]; 3) данные испытаний плуга ПЛН на ФГБУ «Поволжская МИС» при обработке почвы после уборки зерновых культур, характеризующейся по типу и механическому составу как чернозем обыкновенный среднесуглинистый. В условиях испытаний влажность почвы составляла 20,6-22,4 %, твердость почвы 1,48-1,79 МПа. Установочная глубина обработки почвы по стерне ячменя плугом в этих условиях составляла 27 см. Масса и высота пожнивных и растительных остатков соответственно составляли 107-138 г/м^2 и 12 см [13, 14].

Тяговое усилие трактора при работе с трехкорпусным плугом определили по выражению [15]:

$$P_{кр} = N_{кр} / u_p, \quad (1)$$

где $P_{кр}$, – тяговое усилие на крюке, кН; $N_{кр}$, – тяговая мощность, кВт; u_p – рабочая скорость, м/с.

Тягово-сцепные свойства трактора на пахоте оценивали по коэффициенту использования сцепного веса $\varphi_{сц}$, показывающий отношение силы тяги трактора к сцепному весу $G_{сц}$, кН трактора [15]:

$$\varphi_{сц} = P_{кр} / G_{сц}, \quad (2)$$

Оценку эффективности использования пахотного агрегата определили по коэффициенту полезного действия (КПД) при условии равенства тягового усилия трактора тяговому сопротивлению плуга $P_{кр} = R_{пл}$ [15]:

$$\eta_a = (P_{кр} \cdot u_p) / N_e \quad (3)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя трактора, кВт.

Тяговое сопротивление плуга $R_{пл}$ рассчитали по рациональной формуле академика В. П. Горячкина [15, 16]:

$$R_{пл} = Gf + kaB_п + \varepsilon aB_п u_p^{\ 2}, \quad (4)$$

где, G – сила тяжести плуга, кН; f – коэффициент трения корпуса плуга о почву; k – коэффициент, характеризующий способность почвенного пласта сопротивляться деформации, кН/м^2; a – глубина обработки почвы, м; $B_п$ – ширина захвата корпуса плуга, м; ε – коэффициент, зависящий от формы рабочего органа и свойств почвы, кНс^2/м^4; u_p – рабочая скорость пахотного агрегата, м/с.

Производительность агрегата $W_ч$, *га/ч* определили через тяговую мощность $N_{кр}$, кВт трактора на соответствующей скорости u_p агрегата [15]:

$$W_ч = 0{,}36\, N_{кр}\, \eta_u\, \beta\, \tau / k_{агр}, \quad (5)$$

где, η_u – коэффициент использования тягового усилия трактора; $\tau=0{,}8$ – коэффициент использования времени смены; $\beta = 1{,}1$ – коэффициент использования ширины захвата плуга; $k_{агр} = k/B_п$ – удельное сопротивление агрегата, кН/м.

Энергоемкость технологического процесса обработки почвы определили из соотношения затрат мощности на тягу плуга $N_п$ и часовой производительности [15]:

$$Э_п = N_п / W_ч \quad (6)$$

Результаты исследований. На основе результатов тяговых испытаний тракторов получили зависимости тягового усилия тракторов от скорости движения $P_{кр} = f(u_p)$ (рисунок 1, поз. 1-7). На график нанесли расчетную зависимость сопротивления трехкорпусного плуга ПЛН-3-35 от скорости движения $R_{кр} = f(u_p)$ (рисунок 1, поз. ПЛН-3-35) полученную при следующих значениях: $G = 0,47$ кН; $f = 0,5$; $k = 31$ кН/м^2; $a = 0,27$ м; $B_п = 1,05$ м; $\varepsilon = 3,43$ кНс^2/м^4.

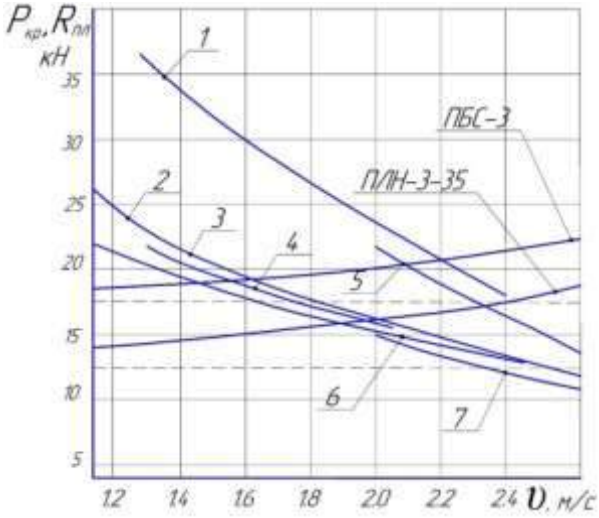


Рисунок 1 – Зависимость тягового усилия $P_{кр}$ тракторов (1 – Case IH JX1090U; 2 – Massey Ferguson 4325; 3 – Challenger MT 425; 4 – John Deere 5085; 5-New Holland TD5030; 6 – МТЗ-82; 7 – МТЗ-80) и тягового сопротивления плуга $R_{пл}$ от скорости движения ϑ_p (пунктиром отмечен диапазон силы тяги трактора в тяговом классе 1,4)
Figure 1 – Dependence of the tractive effort P_{kr} of tractors (1 – Case IH JX1090U; 2 – Massey Ferguson 4325; 3 – Challenger MT 425; 4 – John Deere 5085; 5 – New Holland TD5030; 6 – MTZ-82; 7 – MTZ-80) and the tractive resistance of the plough R_{pl} on the speed of movement ϑ_p (the dotted line indicates the range of the tractor's tractive force in the 1.4-class)

На основании выражения (3) и используя величины $P_{кр}$ и u_p, полученные в точках пересечения кривых (рисунок 1) и эффективную мощность двигателя трактора (таблица 1), на рисунке 2 представлена диаграмма КПД пахотных агрегатов.

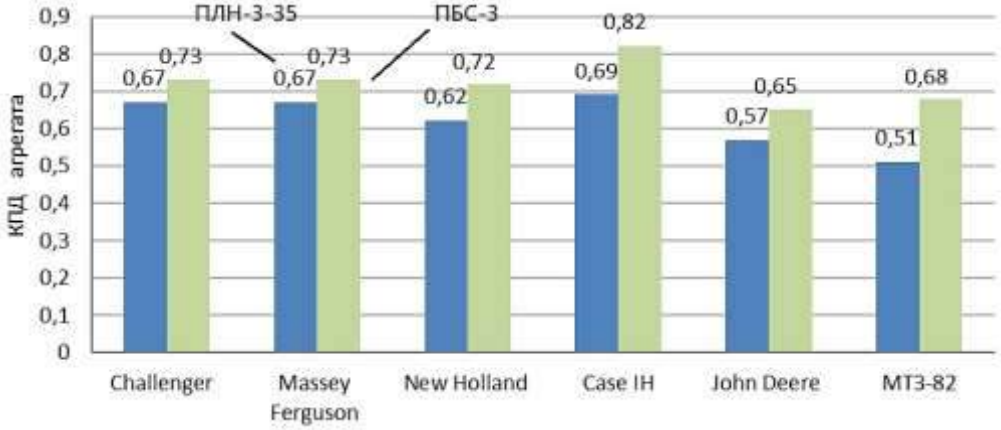


Рисунок 2 – Диаграмма КПД пахотных агрегатов с плугами ПЛН-3-35 и ПБС-3
Figure 2 – Efficiency diagram of ploughing units with PLN-3-35 and PBC-3 ploughs

Анализ диаграммы (рисунок 2) показывает, что наибольший КПД = 0,69 получен у пахотных агрегатов с плугом ПЛН-3-35 и трактором Case IH JX 1090U, КПД=0,67 трактором Massey Ferguson 4325 и Challenger MT 425. У всех тракторов имеется некоторый запас мощности по тягово-сцепным характеристикам.

В ФГБОУ ВО Вавиловский университет разработан новый корпус плуга (рисунок 3) с увеличенной шириной захвата, техническая новизна которого подтверждена патентом на полезную модель РФ № 190266 [17].

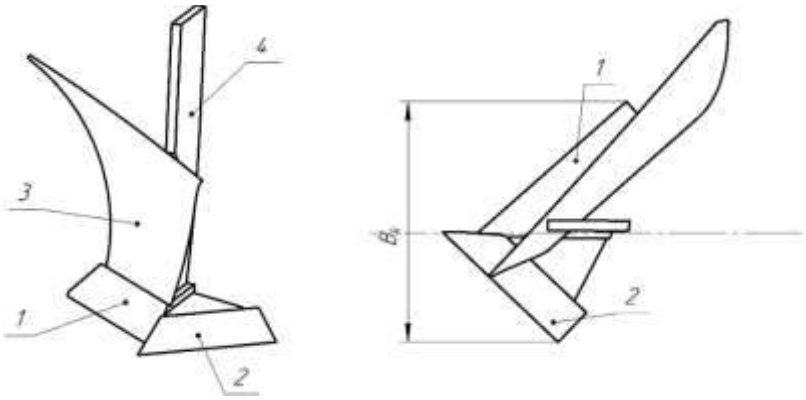


Рисунок 3 – Конструктивно-технологическая схема нового корпуса плуга общего назначения:
1 – лемех правый; 2 – лемех левый; 3 – отвал; 4 – стойка; $B_к$ – ширина захвата корпуса плуга
Figure 3 – Design and technological scheme of a new general-purpose plough body:
1 – right share; 2 – left share; 3 – blade; 4 – post; Bk – plough body width

Конструктивно-технологическая схема нового корпуса плуга по своим параметрам значительно отличается от корпуса плуга ПЛН-3-35. Вместо полевой доски установлен левый лемех. Расстановка левого и правого лемехов соответствует расположению лемехов асимметричной стрельчатой лапы плоскореза. При этом длина лемехов неодинаковая, а левый лемех смещен вперед относительно правого лемеха. Отвал имеет форму, отличающуюся от формы отвала корпуса плуга ПЛН-3-35. Ширина захвата нового корпуса составляет $B_к$ = 62 см. Новый корпус устанавливается на плуги серии ПБС, у которых основной несущий брус с установленными корпусами расположен – под углом 45º к направлению движения плуга, а у плуга ПЛН-3-35 под углом 27º. Такая расстановка корпусов позволяет значительно снизить длину плуга при увеличении ширины захвата. Конструктивно-технологическое решение позволяет исключить движение тракторов с плугом ПБС-3 в открытой борозде (Патент на пол. мод. РФ № 190266. «Трехкорпусный лемешно-отвальный плуг», авт.: В. М. Бойков, Е. В. Бойкова, С. В. Старцев, А. В. Агеев, М. В. Карпов. МПК A 01B 3/30, A 01 B 3/42; заявл. 26.03.2019; опубл. 25.06.2019. Бюл. № 18).

На основе классической схемы лемешно-отвального плуга ПЛН-3-35, схемы нового корпуса (рисунок 3), разработан новый широкозахватный плуг ПБС-3 (рисунок 4). Конструктивная ширина захвата нового плуга ПБС-3 с тремя корпусами составляет $B_{пл}$ = 1,8 м, что на 41,6 % больше ширины захвата лемешно-отвального плуга ПЛН-3-35.



Рисунок 4 – Пахотный агрегат с плугом ПБС-3
Figure 4 – Ploughing unit with PBS-3 plough

Используя результаты исследований корпуса плуга ПБС [18]: $G = 0{,}62$ кН; $f = 0{,}8$; $k = 31$ кН/м^2; $a = 0{,}27$ м; $B_п = 1{,}8$ м; $\varepsilon = 1{,}58$ кНс^2/м^4 по выражению (3) рассчитали тяговое сопротивление плуга ПБС-3 и КПД агрегатов. Аналогично на график (рисунок 1) нанесли зависимость сопротивления широкозахватного плуга ПБС-3 от скорости движения

$R_{кр} = f(u_p)$ (рисунок 1, поз. ПБС-3). Анализ зависимостей показывает, что тяговое сопротивление плуга ПЛН-3-35 шириной захвата 1,05 м ниже, чем у плуга ПБС-3 шириной захвата 1,8 м на 22,2…38,8 %. Из диаграммы (рисунок 2) расчетных величин КПД пахотных агрегатов в составе с плугом ПБС-3 виден рост КПД у всех исследуемых агрегатов, что свидетельствует о повышении эффективности агрегатов.

Для проверки установленных показателей теоретическими исследованиями провели эксперименты работы пахотных агрегатов с трехкорпусными плугами ПЛН-3-35 и ПБС-3 с трактором МТЗ-82 [19]. На рисунке 5 представлена зависимость энергоемкости обработки почвы агрегатами МТЗ-82 + ПБС-3 и МТЗ-82 + ПЛН-3-35 от скорости движения.

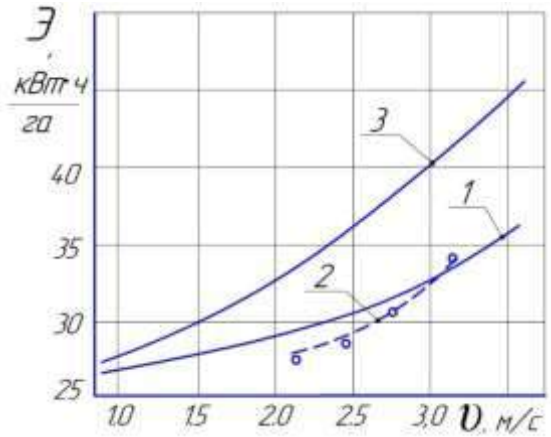


Рисунок 5 – Зависимость энергоемкости обработки почвы пахотными агрегатами МТЗ-82 + ПБС-3 и МТЗ-82 + ПЛН-3-35: 1 – теоретическая зависимость МТЗ-82 + ПБС-3; 2 – экспериментальная зависимость МТЗ-82 + ПБС-3; 3 – теоретическая зависимость МТЗ-82 + ПЛН-3-35
Figure 5 – Dependence of the energy intensity of soil cultivation by MTZ-82 + PBS-3 and MTZ-82 + PLN-3-35 plough units: 1 – theoretical dependence of MTZ-82 + PBS-3; 2 – experimental dependence of MTZ-82 + PBS-3; 3 – theoretical dependence of MTZ-82 + PLN-3-35

Анализируя рисунок 5 видно, что энергоемкость обработки почвы агрегатом МТЗ-82 + ПБС-3 ниже, чем агрегатом МТЗ-82 + ПЛН-3-35. Зависимости (поз. 1 и поз. 3), полученные по выражениям (5) и (6), свидетельствуют, что энергоемкость процесса плугом ПЛН-3-35 на 3,7-18,8 % выше, чем плугом ПБС-3. В полевых экспериментах установлена зависимость энергоемкости выполнения технологии вспашки МТЗ-82 + ПБС-3, характер которой согласуется с теоретической зависимостью.

Выводы. В настоящий период применяется большое количество колесных тракторов с мощностью двигателя от 50 до 75 кВт и развиваемым усилием на крюке 14-25 кН. Анализируя их тягово-технические характеристики (таблица 1 и зависимости на рисунке 1), установлено, что тяговое усилие при рабочей скорости движения пахотных агрегатов 2,0-2,2 м/с варьирует от 14,2 до 21,3 кН. Это повлияло на тягово-сцепные свойства агрегатов: так, при коэффициенте использования сцепного веса 0,36-0,58, агрегаты с плугом ПЛН-3-35 показывают уровень КПД 0,51-0,69, агрегаты с широкозахватным плугом ПБС-3 – КПД 0,68-0,82. Получены результаты экспериментальных исследований навесного трехкорпусного плуга ПБС-3 шириной захвата 1,8 м с трактором МТЗ-82, подтверждающие низкие энергозатраты пахотного агрегата и согласующиеся также с расчетными значениями, свидетельствующими о снижении энергоемкости вспашки на 3,7-18,8 % относительно агрегата МТЗ-82 + ПЛН-3-35.

Conclusions. Currently, a large number of wheeled tractors with engine power ranging from 50 to 75 kW and a hook force of 14-25 kN are being used. By analyzing their traction and technical characteristics, Table 1 and the dependencies (Figure 1), it has been established that the traction force at an operating speed of 2.0-2.2 m/s for plough units varies from 14.2 to 21.3 kN. This has affected the traction and coupling properties of the units, as the units with the PLN-3-35 plough have an efficiency of 0.51-0.69, while the units with the PBS-3 wide-area plough have an efficiency of 0.68-0.82. The results of experimental studies of the PBS-3 mounted three-body plough with a working width of 1.8 m and a MTZ-82 tractor have been obtained, confirming the low energy consumption of the ploughing unit and being in agreement with the calculated values, which indicate a decrease in the energy consumption of ploughing by 3.7-18.8 % compared to the MTZ-82+PLN-3-35 unit.

Библиографический список

1. Трактор МТЗ Беларус. Описание и технические характеристики трактора Минского тракторного завода Беларус. http://migrt.ru/products/tech/555/Tractor_MTZ_Belarus
2. Трактор-РЕВЮ. Интернет-журнал о сельскохозяйственной спецтехнике. https://tractorreview.ru/traktora/kolesnyie-traktora/mtz/mtz-1025-tehnicheskie-harakteristiki.html
3. Рекламно-информационный сборник. «Сельхозтехника. Национальный аграрный каталог. 2018. Выпуск № 17. 46 с.
4. John Deere в мире. John Deere. О компании. 2017. http://www.deere.ru/ru_RU/our_company/about_us/worldwide_locations/worldwi
5. New Holland в мире. New Holland Agriculture. О New Holland. 2017. http://agriculture1.newholland.com/apac/ru/o-kompanii/new-holland/new-holland-v-mire
6. Case IH. Case IH Agriculture. 2017. https://www.caseih.com/apac/ru-mo/about-case-ih
7. Institute of Agriculture and Natural Resources Nebraska tractor test laboratory. https://tractortestlab.unl.edu/testreports
8. Щучкин Н. В. Лемешные плуги и лущильники. М.: Госуд. научно-техническое изд-тво машиностроительной лит-ры, 1952. 290 с.
9. Навесные необоротные плуги. http://texagropark.ru/obrabotka-pochvy/vogelnoot
10. Полунавесные оборотные плуги фирмы Kverneland. http://kverneland.ru/plows/kv_pn_rn.php
11. Плуги навесные оборотные фирмы Lemken. https://lemken.com/fileadmin/user_upload/Downloads/LEMKEN_aktuell/Broschüren/ru/EurOpal_VariOpal_ru.pdf
12. Kuhn Master 103 3NSH технические характеристики. https://specs.lectura.ru/ru/tip-modeli/sel-hoztehnika/plugi-kuhn/master-103-3nsh-1158466
13. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов. Альбом-справочник. М.: Россельхозиздат, 1979. 240 с.
14. Протокол № 19-127-90 (2060210) от 25 декабря 1990 года государственных приемочных испытаний плуга восьмикорпусного навесного ПНЛ-8-40. г. Кинель, 1990. 21 с.
15. Бойков В. М. и др. Основная обработка почвы пахотным агрегатом МТЗ-82+ПЛН-3-35. Аграрный научный журнал. 2019. № 2. С. 73-77.
16. Иофинов С. А., Лышко Г. П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1984. 351 с.
17. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.
18. Бойков В. М., Старцев С. В., Агеев А. В. Результаты экспериментальных исследований пахотного агрегата МТЗ-82+ПБС-3М. Аграрный научный журнал. 2019. № 5. С. 73-77.
19. Афонин Е. Д., Береславский, С. Л. и др. Метод определения коэффициентов рациональной формулы Горячкина В. П. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1982. № 4. С. 42-44.
20. Протокол № 08-66П-2018 приемочных испытаний плуга навесного ПБС-3М. Кинель, 2018. 35 с.

References

1. MTZ Belarus tractor. Description and technical characteristics of the tractor of the Minsk Tractor Plant Belarus. http://migrt.ru/products/tech/555/Tractor_MTZ_Belarus
2. Tractor-REVIEW. The online magazine about agricultural machinery. https://tractorreview.ru/traktora/ kolesnyie-traktora/mtz/mtz-1025-tehnicheskie-harakteristiki.html
3. Advertising and information collection. Agricultural machinery. National Agricultural Catalog. 2018. Issue No. 17. 46 c.
4. John Deere in the world. John Deere. About the company. 2017. http://www.deere.ru/ru_RU/our_company/about_us/ worldwide_locations/worldwi
5. New Holland in the world. New Holland Agriculture. About New Holland. 2017. http://agriculture1.newholland.com/apac/ru/o-kompanii/new-holland/new-holland-v-mire
6. Case IH. Case IH Agriculture. 2017. https://www.caseih.com/apac/ru-mo/about-case-ih
7. Institute of Agriculture and Natural Resources Nebraska tractor test laboratory. https://tractortestlab.unl.edu/testreports
8. Shchuchkin N. V. Ploughshares and huskers. M.: The State scientific and technical publishing house of the machine-building industry, 1952. 290 p.
9. Mounted non-reversible ploughs. http://texagropark.ru/obrabotka-pochvy/vogelnoot
10. Kverneland semi-mounted revolving plows. http://kverneland.ru/plows/kv_pn_rn.php
11. Lemken hinged revolving plows. https://lemken.com/fileadmin/user_ upload/Downloads/LEMKEN_aktuell/Broschüren/ru/ EurOpal_VariOpal_ru.pdf
12. Kuhn Master 103 3NSH technical specifications. https://specs.lectura.ru/ru/tip-modeli/sel-hoztehnika/plugi-kuhn/master-103-3nsh-1158466
13. Traction characteristics of agricultural tractors. Album-reference book. Moscow: Rosselkhoznadzor, 1979. 240 p.
14. Protocol No. 19-127-90 (2060210) dated December 25, 1990 of the state acceptance tests of the eight-hull mounted plow PNL-8-40. Kinel, 1990. 21 p.
15. Boykov V. M. et al. Basic tillage with the MTZ-82+PLN-3-35 plough unit. Agrarian Scientific Journal. 2019. No 2. Pp. 73-77.
16. Iofinov S. A., Lyshko G. P. Operation of the machine and tractor park. M.: Kolos, 1984. 351 p.
17. Sineokov G. N., Panov I. M. Theory and calculation of tillage machines. M.: Mashinostroenie, 1977. 328 p.
18. Boikov V. M., Startsev S. V., Ageev A. V. Results of experimental studies of the MTZ-82+PBS-3M arable unit. Agrarian Scientific Journal. 2019. No 5. Pp. 73-77.
19. Afonin E. D., Bereslavsky S. L. et al. A method for determining the coefficients of the rational formula of Goryachkin V. P. Mechanization and electrification of agriculture. 1982. No 4. Pp. 42-44.
20. Protocol No. 08-66P-2018 acceptance tests of the mounted plow PBS-3M. Kinel, 2018. 35 p.

Информация об авторах
Старцев Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, 4/3), e-mail: kingofscience@yandex.ru
Нехорошев Дмитрий Артёмович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект, Университетский, 26.), e-mail: dmitr-nech@yandex.ru
Authors' Information
Startsev Sergey Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Peter Stolypin Ave., 4/3), e-mail: kingoscience@yandex.ru
Nekhoroshev Dmitry Artemovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: dmitrnech@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-62

THE COMPARATIVE ANALYSIS AND THE SENSITIVITY STUDY OF THE SYNCHRONOUS REACTIVE ELECTRIC MOTOR SCALAR AND VECTOR CONTROL IN THE SIMULINK ENVIRONMENT

[1]Bukreev A. V., [1]Solovyov R. Yu., [1]Solovyov R. R., [2]Danenkov I. D.

[1]*Federal Scientific Agroengineering Center VIM*
[2]*State Scientific Center of the Russian Federation NAMI*
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vim@aleksey-bukreev.ru

Received 06.02.2026 Submitted 25.05.2026

The study was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the State assignment of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (project No. FGUN-2025-0004).

Summary
This research focuses on the comparative analysis and sensitivity study of the scalar and vector control strategies for a synchronous reluctance motor. The study employs a detailed dynamic model developed in the Simulink environment to evaluate performance metrics such as dynamic response, torque quality, and current harmonic distortion. Results conclusively demonstrate the superior performance of vector control in high-dynamic applications, while also confirming its robustness to parameter variations, providing a foundation for optimal drive system selection and design.

Abstract
Introduction. Increasing requirements for energy efficiency and accuracy of electric drives in agriculture stimulate the development of synchronous reluctance motors (SynRM) and methods for their control. Comparing the efficiency of scalar and vector control of SynRM allows determining optimal solutions for modern highly dynamic and energy-saving applications. **The object of the study** is the dynamic model of the synchronous reluctance motor in Simulink and the comparative analysis of two control strategies for it: scalar and vector. **Materials and methods.** The methodology is based on a dynamic SynRM model in Simulink, built exclusively from basic blocks. On a single platform, scalar control (with ideal and SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) - sinusoidal excitation) and vector control with PI controllers for current and speed were implemented and compared. Simulation with a fixed step of 10 μs and an SPWM carrier frequency of 1 kHz was conducted under no-load and rated load conditions to assess dynamics, torque ripple, and Total Harmonic Current Factor (THD Current). **Results and conclusions.** Vector control demonstrated complete superiority over scalar control. It provided a speedy recovery time after a load step of 31 Nm of only 10-20 ms compared to ~600 ms for scalar control, while the speed drop amounted to single-digit rpm versus >100 rpm. Current THD with 1 kHz SPWM was 2.7 % (vector) versus 20 % (scalar). Despite larger torque ripples in steady state (3.5 % for vector versus 0.3 % for scalar), they are high-frequency (1 kHz) and mechanically non-critical. Sensitivity analysis confirmed the robustness of vector control; the system remained stable when the saliency ratio changed from 4 to 12 and the moment of inertia varied in the range of 0.5-1.5. Vector control is the optimal solution for high-dynamic drives, while scalar control is suitable only for simple systems with constant speed and load. The developed model represents a reproducible basis for research and educational purposes, as well as a platform for implementing advanced control algorithms.

Keywords**:** *synchronous reluctance motor, vector control, scalar control, dynamic model, field-oriented control, anisotropy.*

Citation. Bukreev A. V., Solovyov R. Yu., Solovyov R. R., Danenkov I. D. The comparative analysis and the sensitivity study of the synchronous reactive electric motor scalar and vector control in the Simulink environment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 554-567 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-62.
Reviewing. Review Information. The Izvestia NV AUK journal expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review of this work.
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 621.313+631.37

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СКАЛЯРНОГО И ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ РЕАКТИВНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ В СРЕДЕ SIMULINK

[1]**Букреев А. В.,** *кандидат технических наук, старший научный сотрудник*
[1]**Соловьев Р. Ю.,** *кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник*
[1]**Соловьев Р. Р.,** *младший научный сотрудник*
[2]**Даненков И. Д.,** *аспирант, инженер-электроник 2 категории*

[1]ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
[2] Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ»
г. Москва, Российская Федерация

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНАЦ ВИМ FGUN-2025-0004.

Актуальность. Повышение требований к энергоэффективности и точности электрических приводов в сельском хозяйстве стимулирует развитие синхронных реактивных электродвигателей (СРД) и методов их управления. Сравнение эффективности скалярного и векторного управления СРД позволяет определить оптимальные решения для современных высокодинамичных и энергосберегающих применений. **Объект.** Объектом исследования является динамическая модель синхронного реактивного электродвигателя в Simulink и сравнительный анализ двух стратегий его управления: скалярного и векторного. **Материалы и методы.** Методология основана на динамической модели СРД в Simulink, построенной исключительно из базовых блоков. На единой платформе реализованы и сравнены скалярное управление (с идеальным и SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) – синусоидальным возбуждением) и векторное управление с ПИ-регуляторами токов и скорости. Моделирование с фиксированным шагом 10 мкс и несущей SPWM 1 кГц проводилось в режимах холостого хода и номинальной нагрузки для оценки динамики, пульсаций момента и суммарного коэффициента гармонических составляющих тока (THD). **Результаты и выводы.** Векторное управление показало полное превосходство над скалярным. Оно обеспечило время восстановления скорости после наброса нагрузки 31 Н·м всего 10-20 мс против ~600 мс у скалярного, а падение скорости составило единицы об/мин против > 100 об/мин. THD тока с SPWM 1 кГц составил 2,7 % (векторное) против 20 % (скалярное). Несмотря на большие пульсации момента в установившемся режиме (3,5 % у векторного против 0,3 % у скалярного), они носят высокочастотный (1 кГц) и механически некритичный характер. Анализ чувствительности подтвердил робастность векторного управления: система оставалась стабильной при изменении анизотропии от 4 до 12 и момента инерции в диапазоне 0,5-1,5 от номинальной величины. Векторное управление – это оптимальное решение для высокодинамичных приводов, в то время как скалярное управление пригодно лишь для простых систем с постоянной скоростью и нагрузкой. Разработанная модель представляет собой воспроизводимую основу для исследований и учебных целей, а также платформу для реализации продвинутых алгоритмов управления.

Ключевые слова: *синхронные реактивные электродвигатели, векторное управление, скалярное управление, динамические модели, полеориентированное управление, анизотропия.*

Цитирование. Букреев А. В., Соловьев Р. Ю., Соловьев Р. Р., Даненков И. Д. Сравнительный анализ и исследование чувствительности скалярного и векторного управления синхронным реактивным электродвигателем в среде Simulink. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 554-567. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-62.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Повышение требований к энергоэффективности, удельной мощности и устойчивости электрических приводов в промышленности, на транспорте и в агропромышленном комплексе стимулирует активный поиск альтернатив двигателям с постоянными магнитами, что особенно актуально в условиях дефицита редкоземельных материалов и роста их стоимости [1, 2]. Синхронный реактивный электродвигатель (СРД), генерирующий момент за счёт разницы магнитных проводимостей по продольной (d) и поперечной (q) осям ($L_d > L_q$), рассматривается как одна из наиболее перспективных конкурентоспособных технологий [3]. Его ключевые преимущества, такие как высокая надежность, отсутствие магнитов и потерь в роторе, а также потенциал для работы на повышенных скоростях, делают его привлекательным для широкого спектра применений: от насосных установок до гибридных транспортных средств [4, 5].

Однако производительность СРД в значительной степени зависит не только от оптимизации конструкции магнитной системы [6, 7], но и от выбранной стратегии управления, которая должна обеспечивать максимальное использование его моментных возможностей и высокое качество энергопотребления. В настоящее время доминируют два принципиально разных подхода: классическое скалярное управление и векторное полеориентированное управление [8, 9].

Скалярное управление, основанное на поддержании постоянного отношения напряжения к частоте, исторически получило широкое распространение благодаря своей простоте, низкой вычислительной нагрузке и отсутствию необходимости в датчике положения ротора [10, 11]. Однако его фундаментальный недостаток заключается в неразделенном управлении потокосцеплением и моментом в открытом контуре, что приводит к ограниченной динамике, слабому подавлению возмущений нагрузки и неоптимальному использованию двигателя при изменяющихся условиях [12, 13].

В противоположность этому, векторное управление, осуществляя независимое регулирование токов по осям *d* и *q*, позволяет достичь динамических характеристик, сравнимых с двигателем постоянного тока, обеспечивая высокий КПД и точность во всем рабочем диапазоне [14, 15]. Именно такие высокие требования к управлению предъявляются к современным электронным системам гибридных транспортных средств, что подтверждается исследованиями в области архитектуры управления гибридных тракторов [16, 17].

Несмотря на обширный объем публикаций, посвященных как моделированию СРД [18, 19], так и отдельным аспектам их управления [20, 21], в литературе наблюдается дефицит комплексных сравнительных исследований, выполненных на единой, полностью прозрачной модели. Многие существующие работы либо фокусируются на одной стратегии, либо используют готовые библиотечные блоки специализированного ПО (таких как Simulink/Simscape Electrical), внутренняя структура которых скрыта от пользователя, что затрудняет глубокий анализ физических процессов, проверку уравнений и оценку чувствительности к вариациям параметров. Кроме того, недостаточно изученным остается вопрос сравнительного качества формируемого сетевого тока (THD) для разных методов управления при использовании одинаковой модели силового инвертора, что критично для оценки электромагнитной совместимости.

Целью данной работы является разработка детализированной динамической модели СРД в среде MATLAB/Simulink, построенной исключительно на базовых математических блоках для обеспечения максимальной прозрачности, и проведение на ее основе всестороннего сравнительного анализа двух фундаментальных методов управления – скалярного и векторного. Исследование включает оценку динамических характеристик (быстродействие, подавление возмущений), качества электроэнергии (коэффициент гармонических искажений тока), анализ пульсаций момента и структурный анализ чувствительности к ключевым параметрам двигателя и моделирования.

Материалы и методы. Методология моделирования основана на построении детализированной динамической модели синхронного реактивного электродвигателя, реализованной в среде MATLAB/Simulink.

Модель построена в синхронно вращающейся системе координат *dq*. Основным принципом было использование исключительно элементарных блоков, что обеспечивает полную прозрачность и контроль над каждым этапом вычислений. Такой подход позволяет избежать скрытых предположений, заложенных в специализированные библиотечные блоки, и делает модель идеальным инструментом для учебных целей и фундаментальных исследований чувствительности.

Были реализованы и всесторонне протестированы две принципиально различные стратегии управления: скалярное и векторное. Скалярное управление было реализовано в двух вариантах для различных целей анализа. Первый вариант использует идеальный синусоидальный источник напряжения, генерируемый непосредственно по линейному закону ($V = K_v * \omega_e$) с компенсацией падения напряжения на сопротивлении статора на низких скоростях. Этот вариант применялся для анализа динамических переходных процессов без влияния гармоник широтно-импульсной модуляции. Второй вариант идентичен первому по алгоритму формирования задания, но напряжение задания подается на SPWM-модулятор, который формирует управляющие импульсы для идеализированного инвертора. Этот вариант использовался исключительно для анализа THD и сравнения с векторным управлением на идентичной аппаратной части.

Векторное управление реализует классическую двухконтурную структуру [14, 15]. Внешний контур представляет собой ПИ-регулятор скорости, который формирует задание по моменту. На основе уравнения момента СРД это задание преобразуется в задание тока по поперечной оси i_d. Задание тока по продольной оси i_q поддерживается постоянным для создания необходимого потокосцепления. Внутренние контуры представляют собой два независимых ПИ-регулятора, которые управляют токами i_d и i_q в реальном времени. Полученные напряжения v_d и v_q преобразуются обратно в трехфазную систему с помощью обратных преобразований Парка и Кларка. Результирующие фазные напряжения задания подаются на SPWM-модулятор с несущей частотой 1 кГц. Коэффициенты ПИ-регуляторов, приведенные в таблице 1, были подобраны вручную методом проб и ошибок и оставались неизменными во всех симуляциях для обеспечения согласованности сравнения.

Таблица 1 – Коэффициенты ПИ-регуляторов в векторном управлении
Table 1 – Coefficients of PI-controllers in vector control

Контур / Contour	K_p	K_i	Функция / Function
Скорость / Speed	1	166	Формирование i_q / Formation of i_q
Ток по оси *d* / Current along the d-axis	215	305	Управление потоком / Flow control
Ток по оси *q* / Current along the q-axis	3	305	Управление моментом / Moment control

Подсистема преобразования Кларка (рисунок 1а) выполняет переход из трёхфазной системы координат в двухфазную неподвижную систему. Он вычисляет проекции пространственного вектора на ортогональные оси *α* и *β*, используя матричное преобразование с коэффициентом 2/3 для сохранения амплитуды. Прямое преобразование Кларка описывается выражением:

$$v_\alpha = \frac{2}{3}\left(v_a - \frac{1}{2}v_b - \frac{1}{2}v_c\right), \quad (1)$$

$$v_\beta = \frac{2}{3}\left(0 \cdot v_a + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot v_b - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot v_c\right), \quad (2)$$

где v_a, v_b, v_c – трёхфазные напряжения статора, В; v_α, v_β – напряжения в стационарной системе координат, В.

Подсистема преобразования Парка (рисунок 1б) осуществляет перевод величин из неподвижной системы координат *αβ* во вращающуюся систему *dq*. Вычисление производится с использованием тригонометрических функций синуса и косинуса электрического угла ротора, что позволяет перейти в систему координат, связанную с положением ротора. Прямое преобразование Парка описывается выражением:

$$v_d = v_\alpha \cdot cos\theta_e + v_\beta \cdot sin\theta_e, \quad (3)$$

$$v_q = -v_\alpha \cdot sin\theta_e + v_\beta \cdot cos\theta_e, \quad (4)$$

где $\theta_e = p \cdot \theta_m$ – электрический угол ротора, рад; p – число пар полюсов; θ_m – механический угол ротора, рад.

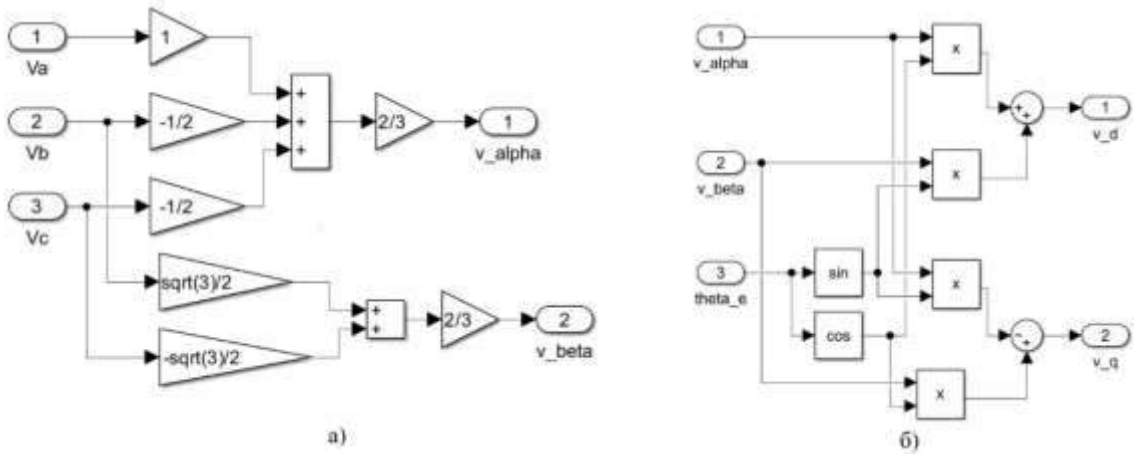


Рисунок 1 – Переход из трёхфазной системы координат во вращающуюся систему *dq*:
а) подсистема преобразования Кларка; б) подсистема преобразования Парка
Figure 1 – Transition from a three-phase coordinate system to a rotating *dq* system:
a) Clark transform subsystem; b) subsystem of transformation of the Park

Система уравнений напряжения в осях *dq* (рисунок 2а) моделирует электромагнитные процессы электродвигателя. Данная подсистема решает дифференциальные уравнения, связывающие напряжения, токи и потокосцепления с учётом перекрёстных электродвижущих сил. Напряжения статора описываются классическими уравнениями для синхронной машины, адаптированными для случая отсутствия возбуждения от постоянных магнитов или обмотки ротора. Уравнения имеют следующий вид:

$$v_d = R_s i_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega_e \psi_q, \quad (5)$$

$$v_q = R_s i_q + \frac{d\psi_q}{dt} + \omega_e \psi_d, \quad (6)$$

где R_s – активное сопротивление статора, Ом; i_d, i_q – токи по осям *d* и *q*, А; ψ_d, ψ_q – потокосцепления по осям *d* и *q*, Вб; $\omega_e = p \cdot \omega_m$ – электрическая угловая скорость, рад/с; ω_m – механическая угловая скорость, рад/с.

Блок вычисления потокосцеплений определяет магнитные потоки по осям *d* и *q* на основе линейных соотношений с токами. Используются постоянные значения индуктивностей L_d и L_q, полученные из конечно-элементного анализа. Уравнения потокосцеплений имеют вид:

$$\psi_d = L_d \cdot i_d, \quad (7)$$

$$\psi_q = L_q \cdot i_q, \quad (8)$$

где L_d – индуктивность по оси *d*, Гн; L_q – индуктивность по оси *q*, Гн.

Подсистема расчёта электромагнитного момента (рисунок 2б) вычисляет момент электродвигателя по формуле, учитывающей разность индуктивностей и произведение токов в осях *d* и *q*. Коэффициент 3/2 обеспечивает соответствие мощности при преобразовании координат. Электромагнитный момент рассчитывается как:

$$T_e = \left(\frac{3}{2}\right) p\left(L_d - L_q\right) i_d\, i_q, \quad (9)$$

где p – число пар полюсов.

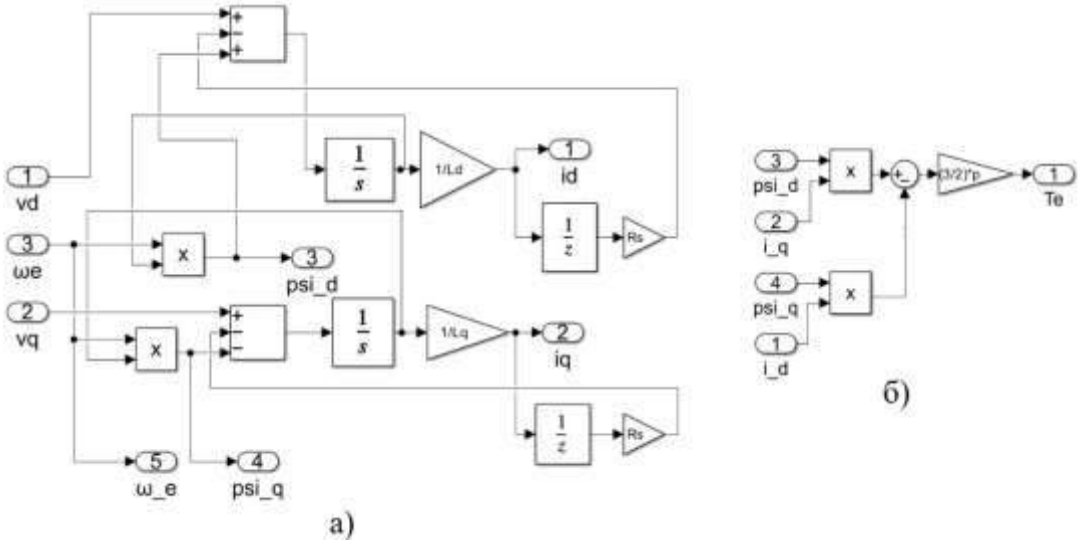


Рисунок 2 – Математическая модель СРД в осях *dq*: а) подсистема уравнений напряжения в осях dq; б) подсистема расчёта электромагнитного момента

Figure 2 – Mathematical model of SynRM in the *dq* axes: a) subsystem of stress equations in the *dq* axes; b) subsystem for calculating the electromagnetic moment

Механическая подсистема (рисунок 3) интегрирует уравнение движения, связывающее электромагнитный момент, момент нагрузки, инерцию и трение. Механика системы описывается выражениями:

$$T_e - T_L = J * \frac{d\omega_m}{dt} + B * \omega_m, \quad (10)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{1}{J}(T_e - T_L - B\omega_m), \quad (11)$$

где T_L – момент нагрузки, Н·м; J – суммарный момент инерции, кг·м²; B – коэффициент вязкого трения, Н·м·с/рад.

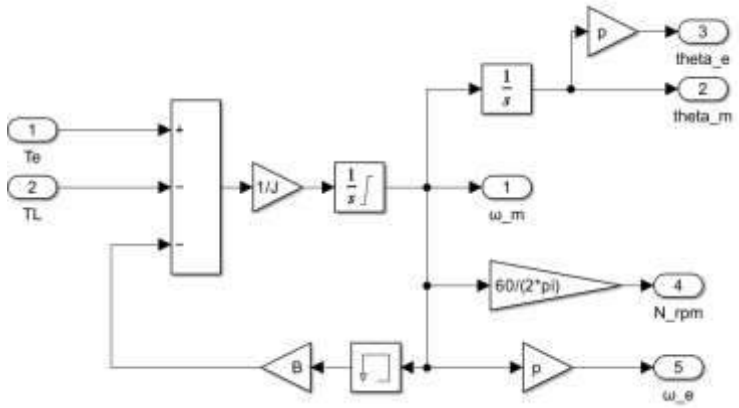


Рисунок 3 – Механическая подсистема
Figure 3 – Mechanical subsystem

Подсистема регулятора скорости в векторном управлении реализует пропорционально-интегральный закон регулирования. На основе отклонения фактической скорости от заданной формируется сигнал задания тока по оси *q*:

$$i_{q_{ref}} = K_{p\omega}(\omega_{ref} - \omega_m) + K_{i\omega}\int(\omega_{ref} - \omega_m)dt, \quad (12)$$

где ω_{ref} – задание скорости, рад/с; $K_{p\omega}$, $K_{i\omega}$ – коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющих.

Подсистема токовых регуляторов поддерживает заданные значения токов по осям *d* и *q* с помощью пропорционально-интегральных корректирующих устройств. Выходными сигналами являются напряжения управления, компенсирующие электродвижущие силы, описывающиеся выражениями:

$$v_{d_{ref}} = K_{pd}\left(i_{d_{ref}} - i_d\right) + K_{id}\int\left(i_{d_{ref}} - i_d\right)dt, \quad (13)$$

$$v_{q_{ref}} = K_{pq}\left(i_{q_{ref}} - i_q\right) + K_{iq}\int\left(i_{q_{ref}} - i_q\right)dt, \quad (14)$$

где K_{pd}, K_{id} – параметры регулятора тока по оси *d*; K_{pq}, K_{iq}– параметры регулятора тока по оси *q*.

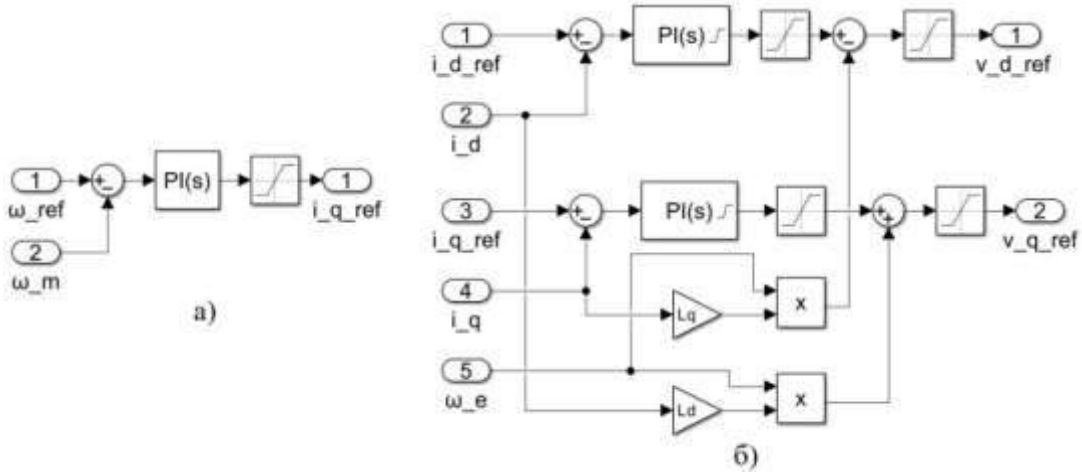


Рисунок 4 – Структура контуров регулирования скорости и тока: а) подсистема регулятора скорости; б) подсистема токовых регуляторов
Figure 4 – Structure of speed and current control loops: a) speed regulator subsystem; b) subsystem of current regulators

Подсистема обратного преобразования Парка (рисунок 5а) переводит напряжения из вращающейся системы координат *dq* в неподвижную систему *αβ*. Используется матрица, обратная прямому преобразованию, с теми же тригонометрическими функциями угла:

$$v_\alpha = v_d \cdot cos\theta e - v_q \cdot sin\theta e, \quad (15)$$

$$v_\beta = v_d \cdot sin\theta e + v_q \cdot cos\theta e. \quad (16)$$

Подсистема обратного преобразования Кларка (рисунок 5а) выполняет переход из двухфазной неподвижной системы в трёхфазную. Формируются три синусоидальных сигнала со сдвигом 120 градусов, представляющих фазные напряжения статора:

$$v_a = v_\alpha, \quad (17)$$

$$v_b = -\frac{1}{2}v_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}v_\beta, \quad (18)$$

$$v_c = -\frac{1}{2}v_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}v_\beta. \quad (19)$$

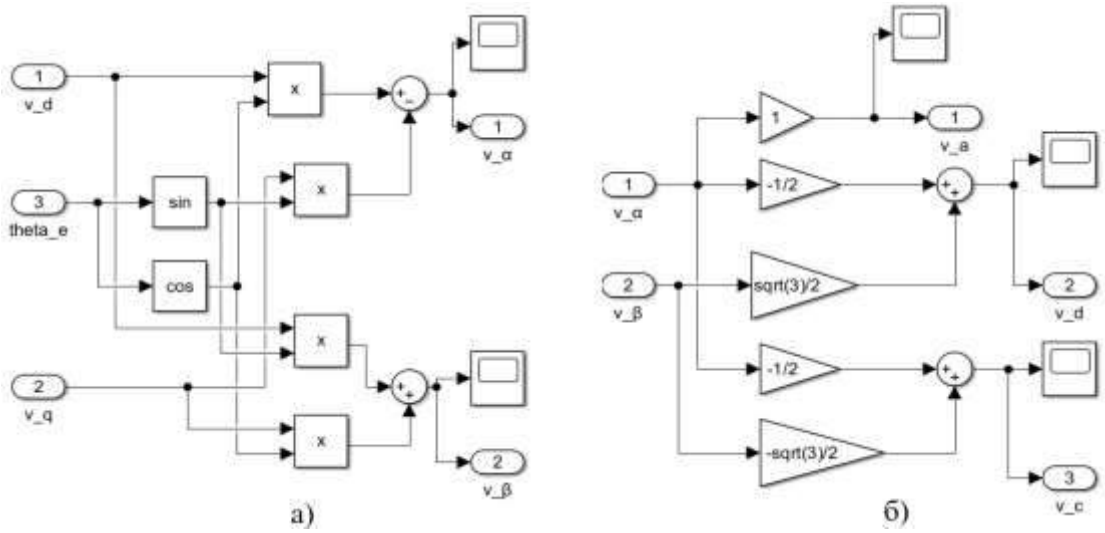


Рисунок 5 – Подсистемы перехода из вращающейся системы координат (*dq*) в неподвижную (*abc*): а) подсистема обратного преобразования Парка; б) подсистема обратного преобразования Кларка
Figure 5 – Transition from a rotating system to a three-phase coordinate system: a) the subsystem of the inverse Park transformation; b) the subsystem of the inverse Clark transform

Подсистема SPWM модулятора (рисунок 6) преобразует синусоидальные опорные сигналы в импульсные ШИМ-сигналы для управления силовыми ключами инвертера.

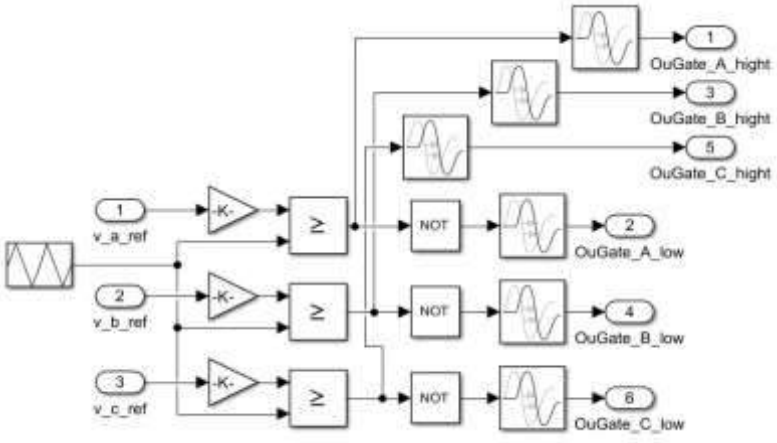


Рисунок 6 – Подсистема SPWM модулятора
Figure 6 – SPWM modulator subsystem

Основные параметры электродвигателя мощностью 3 кВт, приведенные в таблице 2, заимствованы из результатов моделирования СРД в программном обеспечении Altair Flux. Использование таких параметров обеспечивает высокую степень физической достоверности модели, несмотря на ее аналитический характер. Номинальный момент в 31 Н·м был выбран для тестирования модели в жестких, приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Таблица 2 – Базовые параметры СРД
Table 2 – Basic parameters of a synchronous reluctance motor

Параметр / Parameter	Обозначение / Symbol	Значение / Value
Мощность / Power	P	3 кВт / 3 kW
Напряжение (линейное) / Voltage (linear)	V	400 В / 400 V
Сопротивление статора / Stator resistance	R_s	2,268 Ом / 2.268 Ω
Индуктивность по оси d / Inductance along the d-axis	L_d	104,7 мГн / 104.7 μH
Индуктивность по оси q / Inductance along the q-axis	L_q	25,66 мГн / 25.66 μH
Степень анизотропии / Degree of anisotropy	L_d/L_q	4,08
Число пар полюсов / Number of pole pairs	p	6
Момент инерции / Moment of inertia	J	0,01395 кг·м² / kg·m^2
Номинальный момент / Nominal torque	T_n	31 Н·м / 31 N*m

Моделирование проводилось с фиксированным шагом Δt = 10 мкс. Выбор фиксированного шага обусловлен необходимостью точного моделирования работы ШИМ-инвертора. Частота несущей синусоидальной ШИМ (SPWM) составляла 1 кГц, что является типичным значением для приводов средней мощности и позволяет четко наблюдать влияние коммутационных гармоник.

Результаты и обсуждение. Для обеих стратегий моделировались два основных сценария, позволяющих оценить как установившийся режим, так и реакцию на возмущения. Первый сценарий – холостой ход, при котором электродвигатель разгоняется до синхронной скорости 1000 об/мин. Второй сценарий – работа с номинальной нагрузкой, где в момент времени t = 7 с к валу электродвигателя прикладывается ступенчатое возмущение в виде номинального момента 31 Н·м.

Результаты моделирования наглядно демонстрируют фундаментальные различия в поведении синхронного реактивного электродвигателя под управлением скалярного и векторного алгоритмов. Сравнение проводилось при идентичных условиях моделирования, что позволяет напрямую связать наблюдаемые различия с особенностями самих стратегий управления.

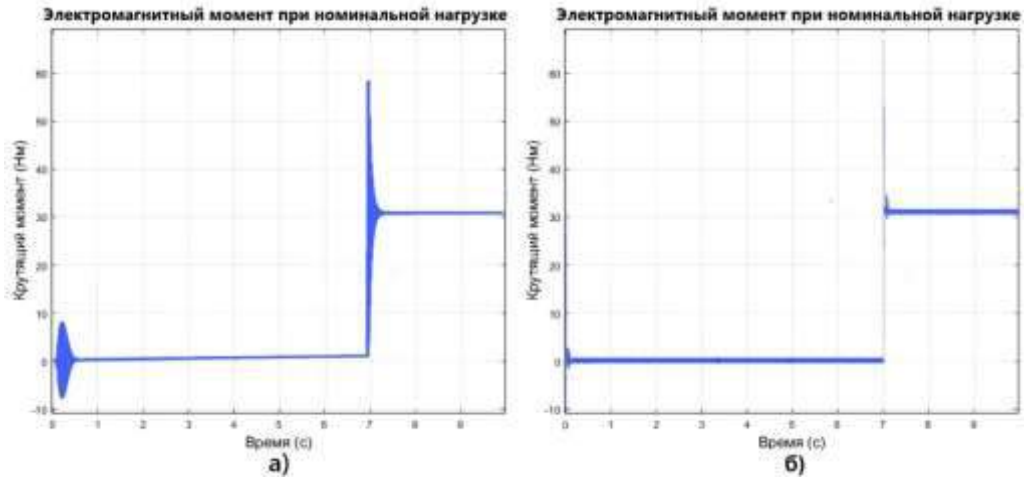


Рисунок 7 – Электромагнитный момент при номинальной нагрузке:
а) скалярное управление; б) векторное управление
Figure 7 – Electromagnetic moment at rated load: a) scalar control; b) vector control

Анализ динамических характеристик выявил кардинально разное поведение систем при переходных процессах и возмущениях. При скалярном управлении разгон электродвигателя сопровождается значительными низкочастотными колебаниями электромагнитного

момента (рисунок 7а). Эти колебания обусловлены отсутствием обратной связи по току и неразделенным управлением потоком и моментом [12, 13]. Электродвигатель не может мгновенно развить необходимый момент для ускорения ротора в соответствии с линейно нарастающей частотой, что приводит к раскачиванию. Процесс установления скорости является медленным и слабодемпфированным. При набросе номинальной нагрузки в момент времени t = 7 с недостатки скалярного управления проявляются еще ярче. Система демонстрирует большое динамическое падение скорости, превышающее 100 об/мин, и крайне медленное восстановление до исходного значения. Процесс восстановления занимает около 0,5 секунды и носит колебательный характер. Это указывает на очень низкую динамическую жесткость и слабую способность подавления возмущений, что является прямым следствием открытого контура управления [10, 11].

Векторное управление демонстрирует принципиально иную динамику (рисунок 7б). Разгон до номинальной скорости происходит практически мгновенно с минимальным перерегулированием. Благодаря независимым контурам регулирования токов по осям *d* и *q* система способна точно и быстро формировать требуемый электромагнитный момент. При ступенчатом приложении номинальной нагрузки реакция системы является образцовой. Наблюдается минимальное отклонение скорости (порядка единиц оборотов в минуту), которое быстро парируется. Время восстановления скорости не превышает 10-20 миллисекунд, что на два порядка быстрее, чем при скалярном управлении. Такое поведение подтверждает высокую динамическую жесткость и превосходные способности векторного управления к подавлению внешних возмущений.

Для корректного сравнения качества формы тока обе стратегии были протестированы с идентичным синусоидальным ШИМ-инвертором (SPWM) с несущей частотой 1 кГц.

Векторное управление обеспечило низкий THD, составивший примерно 2,7 % (рисунок 8).

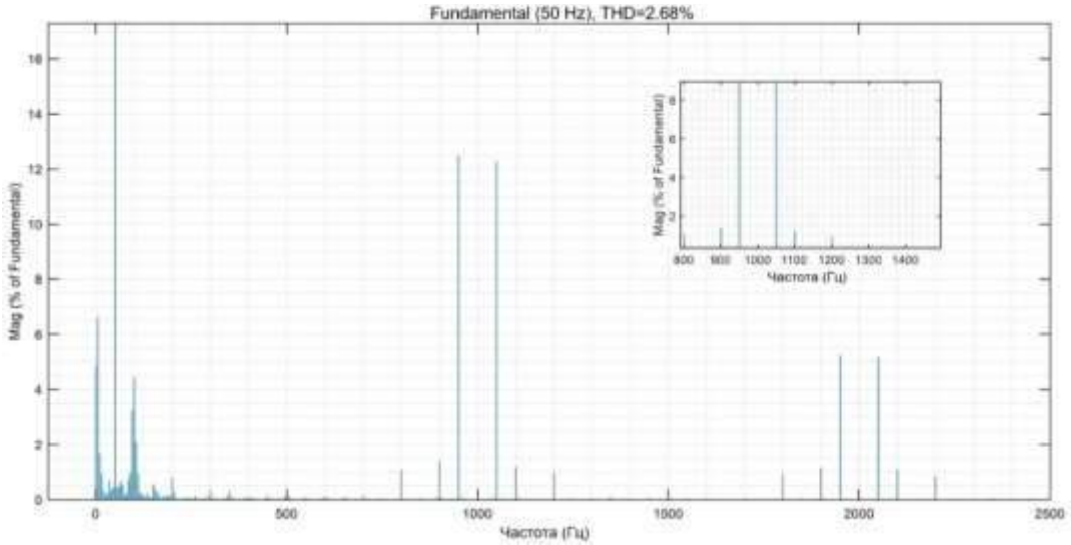


Рисунок 8 – Спектр фазного тока при векторном управлении (THD = 2,68 %)
Figure 8 – Phase current spectrum under vector control (THD = 2.68 %)

Такой результат обусловлен сглаживающим действием внутренних контуров тока, которые активно подавляют гармонические составляющие, и высокой фильтрующей способностью индуктивностей статора.

Скалярное управление в конфигурации с SPWM показало принципиально иной результат (рисунок 9).

THD составил около 20 %, что более чем в семь раз выше, чем при векторном управлении. Столь высокий уровень искажений объясняется отсутствием замкнутого контура регулирования тока. Искаженное ШИМ-напряжение напрямую прикладывается к электродвигателю, а возникающие низкочастотные колебания потока и момента, характерные для скалярного управления, порождают дополнительные гармоники в токе. Это делает скалярное управление с ШИМ неприемлемым для применений, чувствительных к электромагнитным помехам и качеству потребляемой энергии.

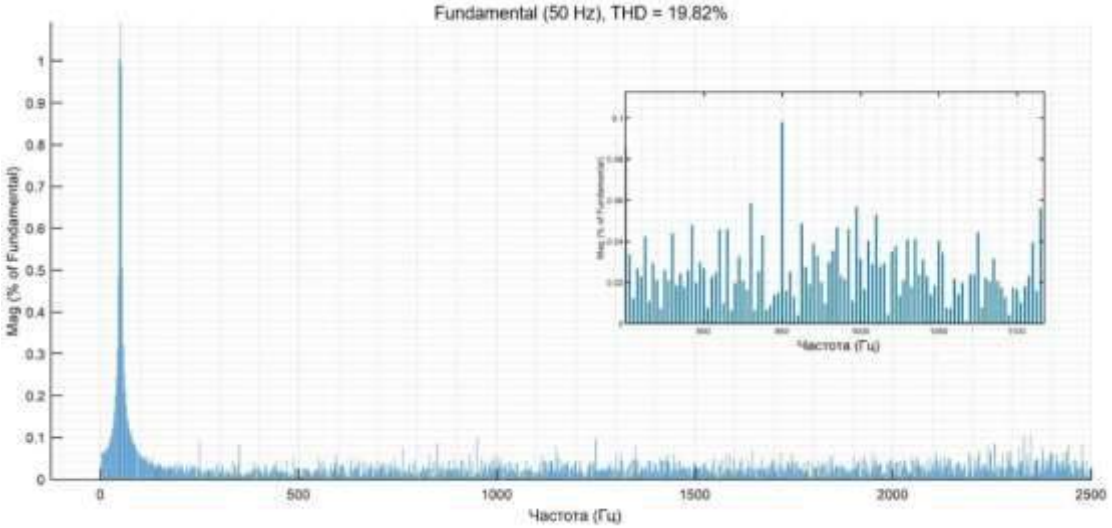


Рисунок 9 – Спектр фазного тока при скалярном управлении с SPWM (THD = 19,82 %)
Figure 9 – Scalar controlled phase current spectrum with SPWM (THD = 19.82 %)

Анализ пульсаций момента дал интересный и неочевидный на первый взгляд результат. В установившемся режиме при номинальной нагрузке скалярное управление показало меньший уровень пульсаций (0,3 % против 3,5 % у векторного управления). Однако критически важно понимать физическую природу этих пульсаций. При скалярном управлении пульсации носят низкочастотный характер и связаны с собственными колебаниями системы «контур напряжения – машина». Они находятся в полосе пропускания механической системы и непосредственно воздействуют на вал, вызывая колебания скорости.

При векторном управлении основной вклад в пульсации момента вносят высокочастотные коммутационные гармоники от ШИМ (кратные 1 кГц). Эти частоты существенно выше собственной частоты механической системы. Следовательно, инерция ротора эффективно их сглаживает, и на механическую сторону привода они практически не передаются. Таким образом, более высокий процент пульсаций в векторном управлении не отражается на механическом движении, тогда как меньшие, но низкочастотные пульсации при скалярном управлении являются механически значимыми.

Для оценки надежности и устойчивости разработанной модели, а также для понимания влияния физических и численных параметров на работу системы был проведен всесторонний анализ чувствительности. Исследовалось влияние трех ключевых факторов: степени магнитной анизотропии, момента инерции ротора и шага численного интегрирования.

Степень анизотропии является определяющим параметром СРД, напрямую влияющим на его моментные характеристики. Анализ проводился в реалистичном диапазоне значений (4, 8, 12).

При скалярном управлении увеличение степени анизотропии положительно сказывается на переходных процессах. Система с большим отношением L_d/L_q демонстрирует меньшие колебания момента при разгоне и более быстрое восстановление скорости после наброса нагрузки. Это объясняется увеличением коэффициента связи между током статора и развиваемым моментом, что повышает собственную электромагнитную жесткость электродвигателя даже в открытом контуре.

При векторном управлении эффект анизотропии проявляется более тонко. Более высокая анизотропия, с одной стороны, позволяет развить больший момент при тех же токах. С другой стороны, она усиливает перекрестные связи между осями d и q в математической модели. В результате, при неизменных настройках ПИ-регуляторов, увеличение L_d/L_q может приводить к росту перерегулирования тока и момента при резких изменениях задания. Однако система сохраняет устойчивость, и установившийся режим не нарушается. Этот результат подчеркивает важность точного знания параметров электродвигателя, особенно индуктивностей, для оптимальной настройки регуляторов векторного управления.

Исследование влияния момента инерции проводилось при векторном управлении путем изменения инерции относительно номинала (0,5-1,5). Результаты полностью соответствуют теоретическим ожиданиям механики. Меньший момент инерции приводит к бо-

лее резкой динамике: скорость нарастает быстрее, но и перерегулирование при разгоне и набросе нагрузки оказывается больше. Более высокая инерция, напротив, сглаживает переходные процессы, уменьшает перерегулирование, но увеличивает время выхода на установившийся режим.

Ключевым наблюдением является то, что момент инерции влияет исключительно на механическую динамику (скорость, ускорение). Он не оказывает никакого влияния на установившиеся значения момента и тока, а также на качество работы внутренних контуров регулирования тока. Это подтверждает корректность декомпозиции системы на электромагнитную (быструю) и механическую (медленную) подсистемы и демонстрирует робастность алгоритма векторного управления к вариациям механических параметров нагрузки. Это особенно важно для приводов, работающих в условиях переменных нагрузок и вибраций, характерных для сельскохозяйственной техники [16, 22].

Итоговое сравнение методов управления, представленное в таблице 3, систематизирует ключевые выводы.

Таблица 3 – Сравнение характеристик скалярного и векторного управления СРД
Table 3 – Comparison of Characteristics of Scalar and Vector Control of a Synchronously Reactive Electric Motor

Критерий / Criterion	Скалярное управление / Scalar control	Векторное управление / Vector control
Динамика момента / Moment dynamics	Медленная, колебательная, слабое подавление возмущений / Slow, oscillatory, weak disturbance suppression	Быстрая, хорошо демпфированная, сильное подавление возмущений / Fast, well-damped, strong disturbance rejection
Динамика скорости / Speed dynamics	Медленный разгон, большой провал при нагрузке / Slow acceleration, large load failure	Быстрый разгон, минимальное отклонение при нагрузке / Fast acceleration, minimum deviation under load
Управление током / Current control	Связанное по осям *d* и *q* / Connected along the d and q axes	Независимое по осям *d* и *q* / Independent on d and q axes
THD тока (с SPWM) / Current THD (with SPWM)	Высокий (≈20 %) / High (≈20 %)	Низкий (≈2,7 %) / Low (≈2.7 %)
Пульсации момента / Moment pulsations	Низкочастотные, механически значимые / Low-frequency, mechanically significant	Высокочастотные, сглаживаемые инерцией / High-frequency, inertia-smoothing
Сложность / Complexity	Низкая / Low	Высокая (требует датчика положения) / High (requires a position sensor)
Область применения / Application area	Простые приводы с постоянной скоростью (насосы, вентиляторы) / Simple drives with constant speed (pumps, fans)	Высокодинамичные приводы (станки, электротранспорт) / High-dynamic drives (machinery, electric vehicles)

Скалярное управление демонстрирует приемлемую работу в установившихся режимах при постоянной скорости и нагрузке. Его главные преимущества – простота, низкая стоимость и отсутствие необходимости в датчике положения ротора. Однако его динамические характеристики, способность к регулированию скорости и подавлению возмущений, а также качество тока (при использовании ШИМ) являются неудовлетворительными для современных высокопроизводительных приводов.

Векторное управление, напротив, представляет собой комплексное решение, обеспечивающее высочайшую динамику, точность и качество управления. Независимое регулирование потока и момента позволяет достичь характеристик, сравнимых с электродвигателем постоянного тока. Недостатками векторного управления являются повышенная сложность реализации, необходимость в точном датчике положения ротора и более высокая вычислительная нагрузка на систему управления. Однако для применений, где критичны быстрый отклик, точное поддержание скорости при изменении нагрузки и высокий КПД, Векторное управление является безальтернативным выбором.

Заключение. Проведённое исследование наглядно и количественно продемонстрировало фундаментальные преимущества векторного полеориентированного управления перед скалярным управлением для синхронного реактивного электродвигателя. Благодаря независимому и точному регулированию магнитного потока и момента, векторное управление обеспечивает высочайшее быстродействие (время восстановления скорости 10-20 мс против ~600 мс),

минимальное отклонение скорости при нагрузке (единицы об/мин против >100 об/мин), превосходное подавление возмущений и выдающееся качество потребляемого тока (THD ≈2,7 % против ≈20 %). Это делает его безальтернативным выбором для современных высокодинамичных и энергоэффективных электроприводов в таких областях, как станкостроение, робототехника и электротранспорт.

Скалярное управление, несмотря на простоту и низкую стоимость, показало ограниченную динамику, низкую жесткость и неприемлемо высокий уровень гармонических искажений при работе с ШИМ, что сужает область его применения до простых систем с постоянной скоростью. При этом даже его меньшие пульсации момента в установившемся режиме (0,3 % против 3,5 % у векторного управления) носят механически значимый низкочастотный характер.

Разработанная детализированная модель, обладая высокой прозрачностью и воспроизводимостью, стала эффективным инструментом для анализа и подтвердила свою робастность, оставаясь стабильной при изменении ключевых параметров (анизотропия 4-12, момент инерции 0,5-1,5). Основным направлением для дальнейшего развития модели является учет нелинейностей магнитной цепи и особенностей реального силового инвертора для повышения точности прогнозирования в экстремальных режимах.

Conclusions. The conducted research clearly and quantitatively demonstrated the fundamental advantages of vector field-oriented control over scalar control for a synchronous reluctance motor. Due to the independent and precise regulation of magnetic flux and torque, vector control provides the highest dynamic performance (speed recovery time of 10-20 ms vs. ~600 ms), minimal speed deviation under load (single-digit rpm vs. >100 rpm), superior disturbance rejection, and outstanding quality of the input current (THD ≈2.7 % vs. ≈20 %). This makes it the unequivocal choice for modern high-dynamic and energy-efficient electric drives in fields such as machine tool manufacturing, robotics, and electric vehicles.

Scalar control, despite its simplicity and low cost, demonstrated limited dynamics, low stiffness, and an unacceptably high level of harmonic distortion when operating with PWM, which narrows its field of application to simple systems with constant speed. Furthermore, even its lower torque ripple in steady state (0.3 % vs. 3.5 % for vector control) has a mechanically significant low-frequency nature.

The developed detailed model, possessing high transparency and reproducibility, proved to be an effective analysis tool and confirmed its robustness by remaining stable under variations of key parameters (anisotropy 4-12, moment of inertia 0.5-1.5). The primary direction for further development of the model is to account for magnetic circuit nonlinearities and the characteristics of a real power inverter to improve the accuracy of predictions in extreme operating regimes.

Библиографический список

1. Соловьев Д. А., Бакиров С. М., Бахтиев Р. Н., Ищенко А. П., Саидов Д. М. Анализ способов повышения энергетической эффективности электропривода передвижных электрифицированных средств. Аграрный научный журнал. 2025. № (2). С. 145-152.
2. Кумахов А. А., Фиапшев А. Г., Кудаев З. Р., Кушаев С. Х. Повышение энергоэффективности электропривода энергетических средств. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 3 (45). С. 108-114.
3. Bukhari S. A. A. S., Kumar V. Development of a Synchronous Reluctance Motor for Industrial application. Sukkur IBA Journal of Emerging Technologies. 2024. Vol. 7. No. 1. Pp. 15-23.
4. Савостеенко Н. В., Максимов Н. М., Благов М. С., Посаднов А. Е. Разработка синхронной реактивной машины с высокими удельными показателями для промышленных электроприводов. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2022. № 22 (4). С. 60-66.
5. Споров А. П., Писарев Д. Ю., Парахнич А. С. Электропривод транспортного средства сельскохозяйственного назначения. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. № 15 (3). С. 48-54.
6. Li A., Jiang D., Sun J., Liu Z., Lee C. H. Unified vector torque control for reluctance motor with different coil pitch. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2022. No. 70 (6). Pp. 5527-5536.
7. Liu J., Wang X., Zhao W., Xing Z., Zhou H. Modeling Dual Saturation Effects and Torque Suppressed Self-Commissioning for Synchronous Reluctance Motor. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2024.
8. Иванов О. О. Разработка и моделирование системы скалярного квадратичного управления асинхронным двигателем в MATLAB. Энергетика, управление и автоматизация: инновационные решения проблем. 2023. С. 344-349.
9. Абдуллаев М. Векторное управление регулируемых синхронных электроприводов. Universum: технические науки. 2022. № 3-4 (108). С. 32-34.
10. Graciola C. L., Goedtel A., Angélico B. A., Castoldi M. F., Costa B. L. G. Energy Efficiency Optimization Strategy for Scalar Control of Three-Phase Induction Motors. Journal of Control, Automation and Electrical Systems. 2022. Vol. 33, No. 3. Pp. 1032-1043.
11. Высоцкий В. Е., Марков И. Ю., Матвеев Ю. В. Синтез скалярной системы автоматического управления вентильного двигателя с управлением по полю для гребных электрических установок с движительно-рулевым комплексом AZIPOD. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2021. Т. 64. № 6. С. 29-35.

12. Dinh B. H., Tran C. D. Improved scalar control based on slip compensation from virtual speeds in three-phase induction motor drives. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). 2024. No. 15 (3). Pp. 1410-1416.

13. Graciola C. L., Goedtel A., Angélico B. A., Castoldi M. F., Costa B. L. G. Energy efficiency optimization strategy for scalar control of three-phase induction motors. Journal of Control, Automation and Electrical Systems. 2022. No. 33 (3). Pp. 1032-1043.

14. Лицин К. В., Клименко А. А., Ореховский И. А. Исследование моделей векторного управления с ориентацией по потокосцеплению ротора. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 10. С. 538-542.

15. Шохин В. В., Храмшин В. Р., Корнилов Г. П., Пермякова О. В. Моделирование системы векторного управления асинхронным двигателем с преобразованием координат электропривода. Электротехнические системы и комплексы. 2022. № 1 (54). С. 29-37.

16. Измайлов А. Ю., Букреев А. В., Соловьев Р. Ю., Соловьев Р. Р., Даненков И. Д. Электронная система управления последовательного гибридного трактора с мотор-колесами. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19. № 4. С. 4-12.

17. Bukreev A. V., Solovev R. Y., Solovev R. R., Danenkov I. D. Modern hybrid tractor electronic control system architecture. Journal of Agriculture and Environment. 2025. No. 12 (64).

18. Credo A., Pescetto P. The systematic method for the calibration of FEA model of synchronous reluctance machines considering manufacturing effects. IEEE Open Journal of Industry Applications. 2025.

19. Mahmoud H., Degano M., Bacco G., Bianchi N., Gerada C. Synchronous reluctance motor iron losses: Analytical model and optimization. In 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). IEEE. 2018. Pp. 1640-1647.

20. Казакбаев В. М., Дмитриевский В. А., Прахт В. А. Математическое моделирование трехфазного синхронного реактивного двигателя с оптимальным векторным управлением в среде MATLAB с использованием Simulink и SimPowerSystems. Дистанционное и виртуальное обучение. 2014. № 6 (84). С. 47-58.

21. Madbouly S. O. Enhanced Field-Oriented Control for Synchronous Reluctance Motor Using Fuzzy Logic. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEEI). 2025. No. 13 (1). Pp. 95-109.

22. Гусаров В. А. Силовая установка для мобильного транспортного средства класса 0,6-0,8 на базе тракторного самоходного шасси Т-16. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. № 15 (2). 26-32.

References

1. Sokolov D. A., Bakirov S. M., Bakhtiev R. N., Ishchenko A. P., Saidov D. M. Analysis of ways to increase the energy efficiency of the electric drive of mobile electric vehicles. Agrarian Scientific Journal. 2025. No. (2). Pp. 145-152.

2. Kumakhov A. A., Fiapshev A. G., Kudaev Z. R., Kushaev S. Kh. Improving the energy efficiency of the electric drive of energy facilities. Proceedings of the Kabardino-Balkaria State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2024. No. 3 (45). Pp. 108-114.

3. Bukhari S. A. A. S., Kumar V. Development of a Synchronous Reluctance Motor for Industrial application. Sukkur IBA Journal of Emerging Technologies. 2024. Vol. 7. No. 1. Pp. 15-23.

4. Savosteenko N. V., Maksimov N. M., Blagov M. S., Posadnov A. E. Development of a synchronous reactive machine with high specific indicators for industrial ecletric drives. Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering. 2022. No. 22 (4). Pp. 60-66.

5. Sporov A. P., Pisarev D. Yu., Parakhnich A. S. Electric drive for an agricultural vehicle. Agricultural Machinery and Technologies. 2021. No. 15 (3). Pp. 48-54.

6. Li A., Jiang D., Sun J., Liu Z., Lee C. H. Unified vector torque control for reluctance motor with different coil pitch. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2022. No. 70 (6). Pp. 5527-5536.

7. Liu J., Wang X., Zhao W., Xing Z., Zhou H. Modeling Dual Saturation Effects and Torque Suppressed Self-Commissioning for Synchronous Reluctance Motor. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2024.

8. Ivanov O. O. Development and simulation of a scalar quadratic control system for an asynchronous motor in MATLAB. Energetics, Management and Automation: Innovative Solutions to Problems. 2023. Pp. 344-349.

9. Abdullaev M. Vector control of adjustable synchronous electric drives. Universum: Technical Sciences. 2022. No. 3-4 (108). Pp. 32-34.

10. Graciola C. L., Goedtel A., Angélico B. A., Castoldi M. F., Costa B. L. G. Energy Efficiency Optimization Strategy for Scalar Control of Three-Phase Induction Motors. Journal of Control, Automation and Electrical Systems. 2022. V. 33. No. 3. Pp. 1032-1043.

11. Vysotsky V. E., Markov I. Yu., Matveev Yu. Synthesis of a scalar automatic control system of a valve engine with field control for a rowing electric installation with an azipod propulsion and steering system. Proceedings of Higher Educational Institutions. Electromechanics. 2021. Vol. 64. No. 6. Pp. 29-35.

12. Dinh B. H., Tran C. D. Improved scalar control based on slip compensation from virtual speeds in three-phase induction motor drives. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS). 2024. No. 15 (3). Pp. 1410-1416.

13. Graciola C. L., Goedtel A., Angélico B. A., Castoldi M. F., Costa B. L. G. Energy efficiency optimization strategy for scalar control of three-phase induction motors. Journal of Control. Automation and Electrical Systems. 2022. No. 33 (3). Pp. 1032-1043.

14. Litsin K. V., Klimenko A. A., Orekhovsky I. A. Research of vector control models with orientation by rotor flux linkage. Proceedings of the Tula State University. Technical Sciences. 2024. No. 10. Pp. 538-542.

15. Shokhin V. V., Khranshin V. R., Kornilov G. P., Permyakova O. V. Simulation of the asynchronous motor vector control system with an electric coordinate conversion. Electrical Systems and Complexes. 2022. No. 1 (54). Pp. 29-37.

16. Izmailov A. Yu., Bukreev A. V., Solovyov R. Yu., Solovyov R. R., Danenkov I. D. Electronic control system for a series hybrid tractor with in-wheel motors. Agricultural Machinery and Technologies. 2025. Vol. 19. No. 4. Pp. 4-12.

17. Bukreev A. V., Solovev R. Y., Solovev R. R., Danenkov I. D. Modern hybrid tractor electronic control system architecture. Journal of Agriculture and Environment. 2025. No. 12 (64).
18. Credo A., Pescetto P. The systematic method for the calibration of FEA model of synchronous reluctance machines considering manufacturing effects. IEEE Open Journal of Industry Applications. 2025.
19. Mahmoud H., Degano M., Bacco G., Bianchi N., Gerada C. Synchronous reluctance motor iron losses: Analytical model and optimization. In 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). IEEE. 2018. Pp. 1640-1647.
20. Kazakbaev V. M., Dmitrievsky V. A., Prakht V. A. The mathematical simulation of an optimal vector controlled three-phase synchronous reluctance motor in the MATLAB environment with Simulink and SimPowerSystems. Distance and Virtual Learning. 2014. No. 6 (84). Pp. 47-58.
21. Madbouly S. O. Enhanced Field-Oriented Control for Synchronous Reluctance Motor Using Fuzzy Logic. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEEI). 2025. No. 13 (1). Pp. 95-109.
22. Gusarov V. A. Power plant for a 0.6-0.8 class mobile vehicle based on the T-16 self-propelled tractor chassis. Agricultural Machinery and Technologies. 2021. No. 15 (2). Pp. 26-32.

Информация об авторах

Букреев Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), https://orcid.org/0000-0002-0209-1167, e-mail: vim@aleksey-bukreev.ru

Соловьев Рудольф Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научно-технологическому развитию, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), https://orcid.org/0000-0001-7913-9408, e-mail: rudsol@mail.ru

Соловьев Роман Рудольфович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), https://orcid.org/0009-0005-9934-2514, e-mail: soll.rom@yandex.ru

Даненков Иван Дмитриевич, аспирант, инженер-электроник 2 категории, Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ» (Российская Федерация, 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, 2), https://orcid.org/0009-0006-8245-105X, e-mail: vano755557@gmail.com

Authors' Information

Bukreev Aleksey Valerievich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), https://orcid.org/0000-0002-0209-1167, e-mail: vim@aleksey-bukreev.ru

Soloviev Rudolf Yuryevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Scientific and Technological Development, Leading Researcher, Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), https://orcid.org/0000-0001-7913-9408, e-mail: rudsol@mail.ru

Soloviev Roman Rudolfovich, Junior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), https://orcid.org/0009-0005-9934-2514, e-mail: soll.rom@yandex.ru

Danenkov Ivan Dmitrievich, postgraduate student, 2nd category electronics engineer, State Research Center of the Russian Federation FSUE "NAMI" (Russian Federation, 125438, Moscow, Avtomotornaya St., 2), https://orcid.org/0009-0006-8245-105X, e-mail: vano755557@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-63

THE SUBSTANTIATION OF THE RATIONAL PARAMETERS AND AERATION MODES FOR THE CHAMBER-TYPE BIOLOGICAL FERMENTATION UNIT

Vasilev E. V., Romanov A. S.

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – the branch of the Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM
Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author e-mail: alarm.romanoff@yandex.ru

Received 10.03.2026 Submitted 02.06.2026

Summary

The article provides a justification for the rational parameters and modes of aeration of a chamber-type biological fermentation plant for processing organic waste in farms. The rationale is presented as a result of theoretical and experimental studies of the aerobic fermentation process in a chamber-type installation.

Abstract

Introduction. The urgency of the problem of processing organic waste is due to the need to process manure in farms for which substantial intensive processing technologies (biological fermentation, anaerobic digestion, thermal drying) used at large enterprises are expensive, and for ubiquitous composting and long-term maintenance technologies, characteristic features are long processing times and high nutrient losses. An enlarged assessment of the annual yield of manure (droppings) was carried out. Taking into account the average livestock in the farm farms of the Leningrad Region, 10 conventional heads, with the unhandled keeping of animals on the litter, the annual yield of manure that needs to be processed per farm will average 219 tons. As a rational method for processing such an amount of manure (droppings), an auto-nomadic chamber-type biological fermentation plant has been proposed. At the same time, the issue of the influence of the parameters and aeration modes of chamber-type bio enzyme devices on the uneven heating of the processed mixture has not been sufficiently studied. **Object.** The object of research is the process of aero-

bic biological fermentation of organic waste in a chamber-type installation **Materials and methods.** In the theoretical part of the study, methods of mathematical analysis, computer modeling, and similarity theory were used. In the experimental part of the study, generally accepted methods of conducting laboratory studies and the theory of experimental planning were used. **Results and conclusion.** The rational parameters and modes of aeration of an autonomous biofermentation installation of a chamber type were determined: the distance between the perforated pipes was 200 mm, the distance between the holes in the pipes was 100 mm. A mathematical model has been developed to determine the aeration time, taking into account the uneven heating of the mixture at an experimentally determined specific air consumption of 0.11 m^3 per day per 1 kg of processed material. For the developed autonomous chamber-type biofermentation unit, taking into account the estimated capacity of 198 m^3/h and the mixture weight of 4800 kg, the rational aeration time was 3.3 minutes with a frequency of 30 minutes. The results of the conducted research can serve as a starting point for subsequent interdisciplinary research, as well as studying the problem of the formation of emissions of climatically active substances during aerobic fermentation in a chamber-type installation.

Keywords*: organic waste, organic waste recycling, organic waste recycling technologies, aerobic biological fermentation, biological fermentation plants.*

Citation. Vasilev E. V., Romanov A. S. The substantiation of the rational parameters and aeration modes for the chamber-type biological fermentation unit. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 567-576 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-63.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 631.86

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ АЭРАЦИИ БИОФЕРМЕНТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ КАМЕРНОГО ТИПА

Васильев Э. В., *кандидат технических наук, заведующий отделом*
Романов А. С., *младший научный сотрудник*

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

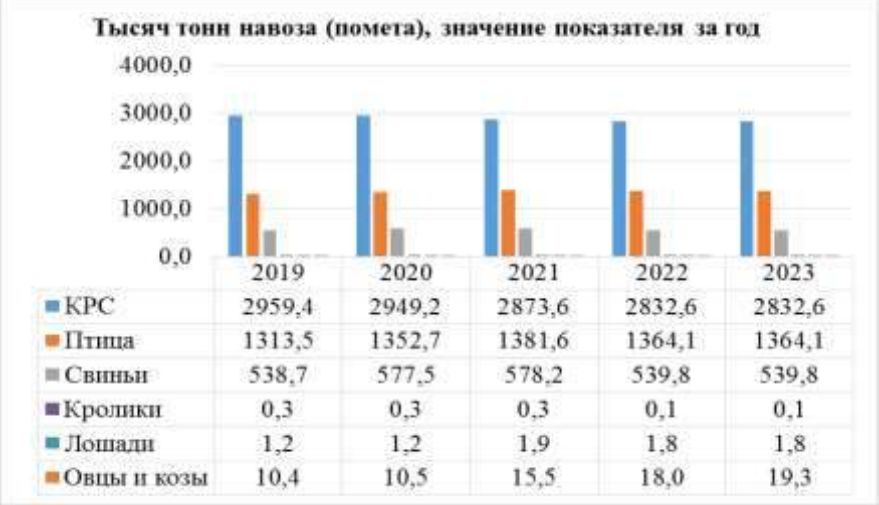
Актуальность. Актуальность проблемы переработки органических отходов обусловлена необходимостью утилизации навоза в фермерских хозяйствах, для которых существующие интенсивные технологии (биоферментация, анаэробное сбраживание, термическая сушка), применяемые на крупных предприятиях, являются дорогостоящими. В то же время для повсеместно используемых технологий компостирования и длительного выдерживания характерны значительные сроки переработки и высокие потери питательных веществ. Проведена укрупненная оценка годового выхода навоза (помета). С учетом среднего поголовья в фермерских хозяйствах Ленинградской области (10 условных голов при беспривязном содержании животных на подстилке) годовой выход навоза, подлежащего переработке, на одно хозяйство в среднем составит 219 тонн. В качестве рационального способа переработки такого количества навоза (помета) предложена автономная биоферментационная установка камерного типа. При этом недостаточно изучен вопрос влияния параметров и режимов аэрации биоферментационных установок камерного типа на неравномерность разогрева перерабатываемой смеси. **Объект.** Объектом исследований является процесс аэробной биоферментации органических отходов в установке камерного типа. **Материалы и методы.** В теоретической части исследования применялись методы математического анализа, компьютерного моделирования, теория подобия. В экспериментальной части исследования применялись общепринятые методы проведения лабораторных исследований, теория планирования эксперимента. **Результаты и выводы.** Определены рациональные параметры и режимы аэрации автономной биоферментационной установки камерного типа: расстояние между перфорированными трубами составило 200 мм, расстояние между отверстиями в трубах – 100 мм. Разработана математическая модель для определения времени аэрации с учетом неравномерности разогрева смеси при экспериментально определенном удельном расходе воздуха 0,11 $м^3$ в сутки на 1 кг перерабатываемого материала. Для предлагаемой автономной биоферментационной установки камерного типа с расходом воздуха вентилятора 198 $м^3$/ч и массой смеси 4800 кг время аэрации составляет 3,3 мин с периодичностью 30 мин. Результаты проведенных исследований могут стать отправной точкой для последующих междисциплинарных исследований, а также изучения проблемы образования выбросов климатически активных веществ в процессе аэробной ферментации в установке камерного типа.

Ключевые слова: *органические отходы, переработка органических отходов, технологии переработки органических отходов, аэробная биоферментация, установки биоферментации.*

Цитирование. Васильев Э. В., Романов А. С. Обоснование рациональных параметров и режимов аэрации биоферментационной установки камерного типа. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 567-576. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-63.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Результатом производственной деятельности сельскохозяйственных предприятий животноводческой отрасли, помимо основных продуктов (молоко, мясо), является также образование побочных продуктов (навоз, помет), которые необходимо утилизировать или перерабатывать. В особенности данный вопрос актуален для фермерских хозяйств, для которых существующие интенсивные технологии переработки (биоферментация, анаэробное сбраживание, термическая сушка), применяемые на крупных предприятиях, являются дорогостоящими, а для повсеместно используемых технологий компостирования и длительного выдерживания характерными особенностями являются длительные сроки переработки (до 12 месяцев) и высокие потери питательных веществ (в пересчете на азот до 50 % потерь) [1].

На основе данных о поголовье животных в хозяйствах Ленинградкой области[1] проведена укрупненная оценка годового выхода навоза (помета) по группам сельскохозяйственных животных для сельскохозяйственных организаций (рисунок 1) и фермерских хозяйств (рисунок 2) за период с 2019 по 2023 год.



	2019	2020	2021	2022	2023
КРС	2959,4	2949,2	2873,6	2832,6	2832,6
Птица	1313,5	1352,7	1381,6	1364,1	1364,1
Свиньи	538,7	577,5	578,2	539,8	539,8
Кролики	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1
Лошади	1,2	1,2	1,9	1,8	1,8
Овцы и козы	10,4	10,5	15,5	18,0	19,3

Рисунок 1 – Укрупненная оценка годового выхода навоза (помета) в сельскохозяйственных организациях Ленинградской области
Figure 1 – The enlarged estimate of the annual output of manure (manure) in agricultural organizations of the Leningrad region

По состоянию на 2023 год в крестьянских (фермерских) хозяйствах, хозяйствах индивидуальных предпринимателей, а также личных подсобных хозяйствах граждан Ленинградской области необходимо перерабатывать 334,2 тыс. т навоза КРС, 26,6 тыс. т помета птиц, 15,4 тыс. т навоза свиней, 3,7 тыс. т навоза кроликов, 10,4 тыс. т навоза лошадей и 38,8 тыс. т навоза овец и коз. С учетом среднего поголовья в фермерских хозяйствах Ленинградской области (10 условных голов [2] при беспривязном содержании животных на подстилке) годовой выход навоза, который необходимо перерабатывать, на одно хозяйство в среднем составит 219 т.

[1] Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. URL: https://www.fedstat.ru/ (Дата обращения 16.11.2025)



	2019	2020	2021	2022	2023
КРС	326,4	337,7	339,1	334,2	334,2
Птица	24,7	27,3	27,2	26,6	26,6
Свиньи	18,3	19,5	16,6	15,4	15,4
Кролики	2,2	2,3	2,4	3,8	3,7
Лошади	9,3	9,6	9,6	9,9	10,4
Овцы и козы	47,2	46,2	44,5	42,4	38,8

Рисунок 2 – Укрупненная оценка годового выхода навоза (помета) в крестьянских (фермерских) хозяйствах, у индивидуальных предпринимателей и в личных хозяйствах граждан Ленинградской области
Figure 2 – The aggregated estimate of the annual output of manure (manure) in peasant (farmer) farms, individual entrepreneurs and private farms of citizens of the Leningrad region

Среди наиболее адаптированных к природно-климатическим условиям Северо-Запада России наибольший потенциал для внедрения в крестьянские (фермерские) хозяйства с учетом достигаемого эколого-экономического эффекта имеет технология биоферментации в установках камерного типа, разработанная авторским коллективом ВНИИМЗ под руководством академика Н. Г. Ковалева. Данная технология в основном нацелена на сектор средних и крупных сельскохозяйственных организаций, поскольку параметры биоферментатора рассчитаны на большие объемы образующегося навоза (помета). Несмотря на то что проведено множество исследований по данной тематике, выявлено, что недостаточно изучен вопрос влияния параметров и режимов аэрации биоферментационных установок камерного типа на неравномерность разогрева перерабатываемой смеси. Неравномерность разогрева оказывает негативное влияние на процесс биоферментации: при аэрации в отсутствие перемешивающих устройств часть смеси остается без доступа кислорода, возникают так называемые анаэробные зоны, в которых не создаются условия для деятельности термофильных микроорганизмов, что ведет к тому, что в этих зонах смесь остается необеззараженной.

Для решения проблемы утилизации органических отходов, образующихся в фермерских хозяйствах, разработана автономная биоферментационная установка камерного типа с камерой объемом 8 м^3, позволяющая перерабатывать до 219 т навоза (помета) в год (рисунок 3) [3].



Рисунок 3 – 3D-модель проекта автономной биоферментационной установки камерного типа
Figure 3 – 3D model of a chamber-type autonomous bio fermentation plant project

Возникает необходимость обоснования параметров и режимов аэрации представленной установки, к которым относятся главным образом расход воздуха, расстояния между воздуховодувными трубами и отверстиями, учитывая то, что без применения механизмов, позволяющих перемешивать смесь, появляются «застойные» зоны, в которые не поступает воздух, вследствие чего смесь в данных зонах не разогревается должным образом и какая-то часть смеси остается необеззараженной.

Целью исследования является обоснование параметров и режимов аэрации биоферментационной установки камерного типа, при которых процент необеззараженной части смеси минимален.

Материалы и методы. Объект исследований – процесс аэробной экзотермической ферментации органических отходов в камерном биоферментаторе. При проведении теоретических исследований использовались методы математического анализа, компьютерного моделирования в «КОМПАС-3D», а также теория подобия [4].

Экспериментальные исследования проводились на биоферментационной установке камерного типа с рабочим объемом камеры 0,8 м^3 (рисунок 4), разработанной по результатам теоретических исследований и с применением теории подобия, представляющей собой уменьшенный и упрощенный аналог предлагаемой биоферментационной установки [5].



Рисунок 4 – Экспериментальная биоферментационная установка камерного типа
Figure 4 – Experimental bio fermentation plant of the chamber type

Методика и результаты проведенных экспериментальных исследований, которые применяются для обоснования рациональных параметров и режимов аэрации, изложены в предыдущих исследованиях [5, 6]. Для обработки экспериментальных данных применялись программы Microsoft Excel и Statgraphics.

Результаты и обсуждение. Одним из наиболее важных факторов, влияющих на процесс протекания экзотермической ферментации, является расход подаваемого в камеру установки воздуха, численное значение которого может варьироваться в зависимости от физических параметров перерабатываемой смеси (плотность, воздухопроницаемость) и режима аэрации: периодического или постоянного.

Для переработки всей загружаемой массы смеси $M_{см}$ необходимый объем воздуха V составит:

$$V = Q_{уд} \cdot M_{см}, м^3 \quad (1)$$

где $Q_{уд}$ – удельный расход воздуха на один килограмм ферментируемой смеси, м^3/кг.

При непрерывном режиме аэрации на протяжении всего периода переработки часовая подача воздуха $V_ч$ составит:

$$V_ч = \frac{V}{24 \cdot t_п}, м^3 / ч \quad (2)$$

где $t_п$ – время переработки, сут.

Расход воздуха, подаваемого напорным вентилятором к смеси при периодической аэрации, равен:

$$Q = \frac{V_ч \cdot T_{аэр}}{t_{аэр}}, м^3 / ч, \quad (3)$$

где $T_{аэр}$ – периодичность аэрации, с; $t_{аэр}$ – время аэрации, с.

Путем математических преобразований выведена формула для определения расхода воздуха напорного вентилятора:

$$Q = \frac{Q_{уд} \cdot M_{см} \cdot T_{аэр}}{24 \cdot t_n \cdot t_{аэр}}, м^3 / ч \quad (4)$$

Удельный расход воздуха на один килограмм смеси $Q_{уд}$ будет находиться в диапазоне от 0,6 м^3/кг (по данным РД-АПК 1.10.15.02-17*) до 1,11-1,85 м^3/кг (при объеме воздуха, необходимого для разложения 1 кг органического вещества порядка 7,4 м^3) [3] в зависимости от режима аэрации: постоянный или периодический режим. Таким образом, точное количество воздуха, которое необходимо подать в камеру установки, неизвестно.

Так как конструкция предлагаемой установки не предусматривает наличия перемешивающих механизмов, появляются «застойные» зоны (анаэробные зоны), в которые не поступает воздух, вследствие чего смесь в данных зонах не разогревается должным образом (рисунок 5) [7].

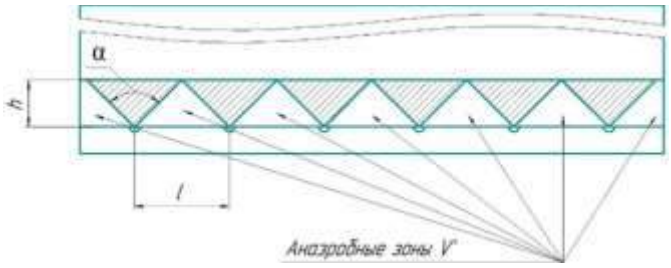


Рисунок 5 – Анаэробные зоны в камере установки
Figure 5 – Anaerobic zones in the plant chamber

С помощью геометрических преобразований определим объем анаэробных зон *V'*. Объем отдельно взятой анаэробной зоны *V'* рассчитывается как объем конуса с высотой *h* и радиусом, который равен половине расстояния между отверстиями *l:*

$$V_i' = \frac{1}{3}\pi\left(\frac{l}{2}\right)^2 h, м^3 \quad (5)$$

Высота *h*, на которой пересекаются потоки подаваемого через отверстия воздуха, определяется следующим образом:

$$h = \frac{l}{2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{l}{2}, м \quad (6)$$

Приняв, что угол между образующими α равен 90°, подставив формулу (6) в формулу (5), получена формула для нахождения объема отдельно взятой анаэробной зоны:

$$V_i' = \frac{\pi l^3}{24}, м^3 \quad (7)$$

Общий объем анаэробных зон *V'* будет зависеть от расстояния между отверстиями в трубах *l,* расстояния между трубами *L,* а также от связанных с данными расстояниями при фиксированном объеме камеры установки количества отверстий *n* и количества труб *N*, и рассчитывается по следующей формуле:

$$V' = \frac{\pi Nn}{24}(L^3 + l^3), м^3 \quad (8)$$

Для наиболее равномерной подачи воздуха к смеси необходимо, чтобы количество труб и отверстий было максимальным (расстояния между ними минимальными), при этом потери давления воздуха в системе аэрации должны быть минимальные [3].

В общем виде зависимость объема анаэробных зон *V'* от расстояния между отверстиями *l,* расстояния между трубами *L*, расхода воздуха *Q,* а также высоты слоя смеси в камере установки *H* представляет собой функцию вида:

$$V' = f(Q, L, l, H) \quad (9)$$

Определение этой функции в явном виде аналитическим путем не представляется возможным. С учетом того, что в процессе биоферментации ключевой фазой является период разогрева до температуры обеззараживания 55 °С [8, 9], для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть процесс биоферментации на основе уравнения теплового баланса.

На основании уравнения теплового баланса выведено условие саморазогрева перерабатываемой смеси до температуры обеззараживания 55 °С с учетом наличия анаэробных зон, неизбежно возникающих в силу конструктивных особенностей системы аэрации в камерном биоферментаторе и направленности воздушного потока [8]:

$$(V_{см} - V')\rho_{см} q_{см} > V_{см}\rho_{см} C_{см}\Delta t_{н} + \frac{\lambda}{\delta} F\Delta t_{m}\tau + V_{см}\rho_{см} C_{воз}\Delta t_{воз} k_{в} + V_{см}\rho_{см} C_{п} k_{w} \quad (10)$$

где $V_{см}$ – объем ферментируемой смеси, м^3; *V'* – общий объем анаэробных зон в ферментируемой смеси, м^3; $q_{см}$ – удельное тепловыделение ферментируемой смеси, Дж/кг; $\rho_{см}$ – плотность ферментируемой смеси, кг/м^3; $C_{см}$ – удельная теплоемкость ферментируемой смеси, кДж/(кг°С); $\Delta t_{н}$ – разница между конечной (55°С) и начальной (10°С) температурами ферментируемой смеси, °С; τ – время переработки, с; λ – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м°С); δ – толщина теплоизоляционного слоя, м; F – площадь теплообмена ферментируемой смеси камеры установки с внешней средой, м^2; Δt_{m} – разница между температурами с внутренней и внешней стороны теплоизоляционного слоя камеры установки, °С; $C_{воз}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг°С); $\Delta t_{воз}$ – разница между конечной и начальной температурами воздуха, °С; $k_{в}$ – удельный расход воздуха, кг возд./кг; $C_{п}$ – удельная теплота парообразования, Дж/кг; k_{w} – отношение количества испарившейся воды к массе смеси, кг воды/кг.

Путем преобразований получена математическая модель, позволяющая теоретически определить общий объем анаэробных зон *V':*

$$V' = \frac{(NLnlH)q_{см} - (NLnlH)C_{см}\Delta t_{н} - \frac{\lambda}{\delta\rho_{см}} F\Delta t_{m}\tau - (NLnlH)C_{воз}\Delta t_{воз} Q_{уд}\rho - (NLnlH)C_{п}k_{w}}{q_{см}} \quad (11)$$

Объем анаэробных зон должен принимать минимальное значение для получения на выходе качественного органического удобрения. Необходимо найти численные значения параметров и режимов аэрации установки, при которых объем анаэробных зон минимальный, что позволяет обеспечить обеззараживание большей части смеси; для этого необходимо добиться наиболее равномерного разогрева смеси.

Для оценки степени неравномерности разогрева перерабатываемой смеси выбран такой показатель как коэффициент вариации температуры смеси, значение которого должно быть минимальным. Также условием обеззараживания смеси при экзотермической аэробной ферментации является выдержка смеси при разогреве ее до температуры свыше 55 °С минимум 3 дня [10], при этом необходимо стремиться к минимально возможным энергозатратам. Задача переработки смеси с минимально возможными анаэробными зонами при минимальных энергозатратах представляет собой решение системы из трех уравнений:

$$\begin{cases} v_{фер} = \dfrac{100\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left(T_i - T_{ср}\right)^2}{n-1}}}{T_{ср}} \to \min \\ \tau_{сут} \geq 3 \\ E_{сут} = P_{аэр}t_{аэр} + P_{выт}t_{выт} \to \min \end{cases} \quad (12)$$

где $v_{фер}$ – коэффициент вариации температуры ферментируемой смеси, %; T_i – температура смеси в i-й точке, °С; $T_{ср}$ – средняя температура смеси, определенная по n точкам, °С; $\tau_{сут}$ – время ферментации при средней температуре смеси выше 55 °С, сут.; $E_{сут}$ – суточное энергопотребление напорного и вытяжного вентиляторов, кВт*ч; $P_{аэр}$ и $P_{выт}$ – мощность напорного и вытяжного вентиляторов, кВт; $t_{аэр}$ и $t_{выт}$ – время работы напорного и вытяжного вентиляторов, ч.

Ранее были проведены экспериментальные исследования и решена оптимизационная задача [6], в результате чего были определены следующие рациональные параметры и режимы функционирования экспериментальной установки с камерой 0,8 м^3: время аэрации – 15 секунд, расстояние между трубами – 200 мм, расстояние между отверстиями – 100 мм.

Экспериментальная биоферментационная установка (рисунок 4) является уменьшенным и упрощенным аналогом предлагаемой установки (рисунок 3), поэтому расстояния между трубами и между отверстиями составят так же 200 мм и 100 мм соответственно, при этом увеличится только их количество: 3 трубы и 10 отверстий на одну трубу. В свою очередь время аэрации будет отличаться, так как масса перерабатываемой смеси будет также различной. Время аэрации рассчитывается по формуле (4). Для того чтобы определить количество воздуха, подаваемого к смеси для ее полноценной переработки с учетом неравномерности ее разогрева, в ходе проведения эксперимента фиксировался фактический расход воздуха (рисунок 6), который ввиду того, что в экспериментах менялись значения таких факторов, как расстояние между перфорированными трубами и расстояние между отверстиями в трубах, менялся в диапазоне (64,7-143,7) м^3/ч.

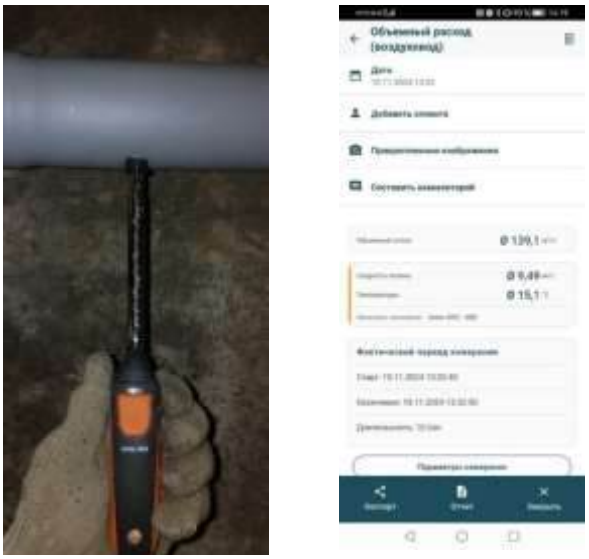


Рисунок 6 – Измерение расхода воздуха
Figure 6 – Air flow measurement

Определен удельный расход воздуха в сутки на один килограмм перерабатываемой смеси 0,11 м^3/кг при рациональных параметрах и режимах аэрации. В результате преобразования формулы (4) получена математическая модель, позволяющая определять время аэрации с учетом неравномерности разогрева смеси в камерном биоферментаторе:

$$t_{аэр} = \frac{0{,}11 \cdot M_{см} \cdot T_{аэр}}{24 \cdot Q}, \text{ мин} \quad (13)$$

Для разработанной автономной биоферментационной установки камерного типа с камерой на 8 м^3, при расчетной производительности напорного вентилятора Q = 198 м^3/ч (с учетом поправок на подсосы воздуха в воздуховодах [3]), периодичности аэрации $T_{аэр}$ = 30 мин. и массы смеси $M_{см}$ = 4800 кг рациональное время аэрации $t_{аэр}$ составит 3,3 мин.

Результаты проведенных исследований позволяют решить проблемы небольших предприятий по переработке отходов с получением качественных органических удобрений, а также могут являться отправной точкой для последующих междисциплинарных исследований и изучения проблемы образования выбросов климатически активных веществ [11, 12] в процессе аэробной ферментации в установке камерного типа.

Заключение. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований процесса аэробной биоферментации определены рациональные параметры и режимы аэрации автономной биоферментационной установки камерного типа с камерой объемом 8 м^3, позволяющей перерабатывать до 219 тонн навоза (помета) в год, образующегося в крестьянских (фермерских) хозяйствах, с учетом неравномерности разогрева перерабатываемой смеси в камере установки. Расстояние между перфорированными трубами составило 200 мм, расстояние между отверстиями в трубах – 100 мм. Разработана математическая модель для определения времени аэрации с учетом неравномерности разогрева смеси при экспериментально определенном удельном расходе воздуха 0,11 м^3 в сутки на 1 кг перерабатываемого материала. Рациональное время аэрации для переработки смеси массой 4800 кг составило 3,3 мин с периодичностью 30 мин.

Conclusions. As a result of theoretical and experimental studies of the aerobic bio fermentation process, rational parameters and aeration modes of an autonomous bio fermentation unit of a chamber type with a chamber volume of 8 m3 have been determined, which allows processing up to 219 tons of manure (manure) per year produced in peasant (farm) farms, taking into account the uneven heating of the processed mixture in the installation chamber. The distance between the perforated pipes was 200 mm, and the distance between the holes in the pipes was 100 mm. A mathematical model has been developed to determine the aeration time, taking into account the uneven heating of the mixture with an experimentally determined specific air consumption of 0.11 m^3 per day per 1 kg of processed material. The rational aeration time for processing a mixture weighing 4,800 kg was 3.3 minutes. The results of the conducted research can serve as a starting point for subsequent interdisciplinary research, as well as studying the problem of the formation of emissions of climatically active substances during aerobic fermentation in a chamber-type installation.

Библиографический список

1. Агапкин А. М., Махотина И. А. Переработка сельскохозяйственных отходов: рынок органических удобрений и производство органических пищевых продуктов. Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 212-225.
2. Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Уваров Р. А. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области. АгроЭкоИнженерия. 2021. № 3 (108). С. 128-140.
3. Романов А. С., Васильев Э. В. Аэродинамический расчет системы воздухо-водов автономного биоферментатора камерного типа. АгроЭкоИнженерия. 2023. № 2 (115). С. 35-45.
4. Иванов А. Г., Николаев В. А., Арсланов Ф. Р., Закирова Р. Р., Файзуллин М. И. Теория подобия для обоснования параметров аэратора навозных буртов. Сельский механизатор. 2021. № 5. С. 17-19.
5. Васильев Э. В., Романов А. С. Применение теории подобия при разработке экспери ментальной биоферментационной установки для определения рациональных параметров и режимов аэрации. Известия НВ АУК. 2025. № 2 (80). С. 421-429.
6. Романов А. С. Оптимизация параметров и режимов функционирования автономной биоферментационной установки камерного типа. Техника и технологии в животноводстве. 2025. Т. 15. № 3. С. 83-90.
7. Миронов В. В., Седых А. А., Миронов А. В., Палюткина К. В. Биотермокомпостирование органических отходов. Техника и технологии в животноводстве. 2019. № 4 (36). С. 37-45.
8. Романов А. С. Определение теплового режима работы биоферментатора камерного типа. АгроЭкоИнженерия. 2024. № 2 (119). С. 82-92.
9. Колдин М. С., Ланцев В. Ю., Соловьев С. В., Манаенков К. А., Криволапов И. П. Исследование теплопроводности компостируемого материала при поточном способе производства органических удобрений. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023. № 4. С. 272-276.
10. Колдин М. С., Криволапов И. П. Анализ технологий и технических средств по переработке отходов животноводства. Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 3.
11. Базыкин В. И. Способы снижения выбросов климатически активных газов на свинофермах. АгроЭкоИнженерия. 2023. № 4 (117). С. 113-130.
12. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Папушин Э. А., Максимов Д. А., Шалавина Е. В., Матейчик С. Н. Цифровой инструмент для определения выбросов метана от систем сбора и хранения навоза. Известия НВ АУК. 2024. № 6 (78). С. 303-311.

References

1. Agapkin A. M., Makhotina I. A. Processing of agricultural waste: the market of organic fertilizers and the production of organic food products. Storage and processing of agricultural raw materials. 2021. No. 3. Pp. 212-225.
2. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Uvarov R. A. Methods for environmentally safe use of animal/poultry manure on private farms in the Leningrad Region. AgroEcoEngineering. 2021. No. 3 (108). Pp. 128-140.
3. Romanov A. S., Vasiliev E. V. Aerodynamic calculation of the duct system of an autono-mous chamber-type bio fermenter. AgroEcoEngineering. 2023. No. 2 (115). Pp. 35-45.
4. Ivanov A. G., Nikolaev V. A., Arslanov F. R., Zakirova R. R., Fayzullin M. I. Similarity theory for substantiating the parameters of a manure aerator. Rural mechanizer. 2021. No. 5. Pp. 17-19.
5. Vasilev E. V., Romanov A. S. The application of the similarity theory in the development of an experimental bio-fermentation plant for determining rational parameters and aeration modes. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2025. No. 2 (80). Pp. 421-429.
6. Romanov A. S. Optimization of autonomous bio fermentation chamber type installation's parameters and operation regimes. Machinery and technologies in livestock. 2025. Vol. 15. No. 3. Pp. 83-90.
7. Mironov V. V., Sedykh A. A., Mironov A. V., Palyutkina K. V. Bio thermal composting of organic waste. Machinery and technologies in animal husbandry. 2019. No. 4 (36). Pp. 37-45.
8. Romanov A. S. Determination of the thermal mode of operation of a chamber-type bio fermenter. AgroEcoEngineering. 2024. No. 2 (119). Pp. 82-92.
9. Koldin M. S., Lantsev V. Yu., Solovyov S. V., Manaenkov K. A., Krivolapov I. P. Investigation of the thermal conductivity of compostable material in the in-line production of organic fertilizers. Technologies of the food and processing industry of the agricultural and industrial complex – healthy food products. 2023. No. 4. Pp. 272-276.
10. Koldin M. S., Krivolapov I. P. Analysis of technologies and technical means for processing animal waste. Science and Education. 2022. V. 5. No 3.
11. Bazykin V. I. Ways to reduce emissions of climate-active gases on pig farms. AgroEcoEngineering. 2023. No. 4 (117). Pp. 113-130.
12. Briukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Papushin E. A., Maksimov D. A., Shalavina E. V., Mateichik S. N. Digital tool for determining methane emissions from manure collection and storage systems. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2024. No. 6 (78). Pp. 303-311.

Информация об авторах

Васильев Эдуард Вадимович, кандидат технических наук, заведующий отделом, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш., 3), e-mail: sznii6@yandex.ru

Романов Александр Сергеевич, младший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское ш., 3), e-mail: alarm.romanoff@yandex.ru

Authors' Information

Vasilev Eduard Vadimovich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: sznii6@yandex.ru

Romanov Aleksandr Sergeevich, Junior Researcher, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3), e-mail: alarm.romanoff@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-64

THE OPERATING CONDITIONS EFFECT ON THE WEAR INTENSITY AND METHODS OF THE PLOUGH WORKING BODIES STEEL PARTS WEAR RESISTANCE INCREASING

Gribenchenko A. V., Motorin V. A., Gapich D. S., Aitmuratov M. T., Borodushkin E. S.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: gribenchenkoaleksey@mail.ru

Received 01.06.2026 Submitted 05.07.2026

The research was conducted as part of the Russian Ministry of Education and Science's research program "Development of resource-saving machines for cultivating agricultural crops and systems for the rational use of agrarian biocenoses based on innovative digital technologies in risky farming conditions to obtain environmentally friendly processed plant materials."

Abstract

Introduction. The mechanism of wear of the working elements of the plow is a complex process of surface destruction of metal, proceeding under conditions of constant friction against the soil mass, which acts as a multiphase abrasive medium. Therefore, in order to increase the wear resistance of the working elements of agricultural machines, it is required to protect the most worn areas. **The object.** Plow tools (ploughshare and blade) were selected as the objects under study. **Materials and methods.** Treatment of soils with a high concentration of abrasive inclusions in sandy, sandy loamy, loamy soils inevitably leads to wear of the plow working elements and can reach 10 % at the ploughshare and 8 % at the dump. The total wear area of the entire plow body can reach up to 15 % of the total surface. Loads in different areas of ploughshare and dump are distributed in such a way that in the area most subject to wear at dump it is from 0.016 to

0.04 MPa, depending on soil type and plow speed. On the rest of the dump, less loaded, the pressure is much less and amounts to 0.004...0.005 MPa. In ploughshares, loads in the most worn areas range from 0.04 to 0.2 MPa, in less loaded surfaces – 0.01...0.04 MPa. Based on studies on the distribution of pressures on the working elements, it can be concluded that, in the most loaded areas compared to the less loaded surface, the pressure distribution at the dump differs by an average of 2.8...3.5, and at the ploughshare by 4.0...4.5 times. Such a difference in the distribution of loads indicates the need to protect the areas of the working elements most susceptible to wear. A new technology is proposed to increase the wear resistance of the working bodies of agricultural machines due to the directed redistribution of carbon to the zones most susceptible to wear, which will not only protect these zones, but also use steels with a lower carbon content, and, therefore, less expensive. **Results and conclusions.** The technology of local hardening of steel working elements of agricultural machines due to thermal diffusion redistribution of carbon into zones subject to the greatest wear is an alternative to conventional hardening methods, which makes it possible to increase wear resistance and at the same time use steels with a low carbon content, and therefore less expensive. The use of this technology will reduce the cost of manufacturing the working bodies of agricultural machines by about 30 % and reduce the risk of cracking and delamination during operation.

Keywords: *plowshare, plow working parts, wear resistance of steel plow parts, and abrasive wear of parts.*

Citation. Gribenchenko A. V., Motorin V. A., Gapich D. S., Aitmuratov M. T., Borodushkin E. S. The operating conditions effect on the wear intensity and methods of the plough working bodies steel parts wear resistance increasing. The various levels of camelina oilcake usage in the dairy cows feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 576-587 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-64.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 621.78:631.33.022

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНОСА И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГА

Грибенченко А. В., *кандидат технических наук, доцент*
Моторин В. А., *доктор технических наук, профессор*
Гапич Д. С., *доктор технических наук, профессор*
Айтмуратов М. Т., *кандидат технических наук, доцент*
Бородушкин Е. С., *аспирант*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках НИР Минобрнауки РФ «Разработка ресурсосберегающих машин для возделывания сельскохозяйственных культур и систем рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий в условиях рискованного земледелия для получения экологически чистых продуктов переработки растительного сырья».

Актуальность. Механизм изнашивания рабочих органов плуга представляет собой сложный процесс поверхностного разрушения металла, протекающий в условиях постоянного трения о почвенную массу, которая выступает в роли многофазной абразивной среды. Поэтому с целью увеличения износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин требуется защитить наиболее изнашиваемые зоны. **Объект.** Рабочие органы плуга (лемех и отвал) были выбраны в качестве исследуемых объектов. **Материалы и методы.** Обработка почв с высокой концентрацией абразивных включений в песчаных, супесчаных, суглинистых почвах неизбежно приводит к износу рабочих органов плуга, который может достигать 10 % у лемеха и 8 % у отвала. Суммарная площадь износа всего плужного корпуса может достигать 15 % от общей поверхности. Нагрузки в разных областях лемеха и отвала распределяются таким образом, что в зоне, наиболее подверженной износу, у отвала они составляют от 0,016 до 0,04 МПа, в зависимости от типа почвы и скорости движения плуга. На остальной части отвала, менее нагруженной, давление значительно меньше и составляет 0,004…0,005 МПа. У лемеха нагрузки в наиболее изнашиваемых областях колеблются в пределах от 0,04 до 0,2 МПа, на менее нагруженных поверхностях – 0,01…0,04 МПа. На основании исследований по распределению давлений на рабочие органы можно заключить, что в наиболее нагруженных участках, по сравнению с менее нагруженной поверхностью, у отвала распределение давления отличается в среднем в 2,8…3,5 раза, а у лемеха – в 4,0…4,5 раза. Такая разница распределения нагрузок говорит о необходимости защиты областей рабочих органов, наиболее подверженных износу. Предлагается новая технология повышения износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин за счёт направленного перераспределения углерода в зоны, наиболее подвержен-

ные износу, что позволит не только защитить эти зоны, но и использовать стали с меньшим содержанием углерода, а следовательно, менее дорогостоящие. **Результаты и выводы.** Технология локального упрочнения стальных рабочих органов сельскохозяйственных машин за счет термодиффузионного перераспределения углерода в зоны, подверженные наибольшему износу, является альтернативой общепринятым методам упрочнения, позволяя повысить износостойкость и при этом использовать стали с невысоким содержанием углерода, а следовательно, менее дорогостоящих. Применение данной технологии позволит примерно на 30 % снизить себестоимость изготовления рабочих органов сельскохозяйственных машин и снизит риск образования трещин и отслоений во время эксплуатации.

Ключевые слова: *лемех плуга, рабочие органы плуга, износостойкость стальных деталей плуга, абразивный износ деталей.*

Цитирование. Грибенченко А. В., Моторин В. А., Гапич Д. С., Айтмуратов М. Т., Бородушкин Е. С. Влияние условий эксплуатации на интенсивность износа и способы повышения износостойкости стальных деталей рабочих органов плуга. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 576-587. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-64.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

Авторский вклад. 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. Эффективность функционирования агропромышленного комплекса в значительной степени определяется техническим совершенством и эксплуатационной надежностью почвообрабатывающих машин. Отвальная вспашка остается одним из наиболее энергоемких и ответственных этапов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, обеспечивая создание оптимального водно-воздушного режима и уничтожение сорной растительности. Однако работа почвообрабатывающих агрегатов протекает в условиях интенсивного взаимодействия рабочих органов с почвенной средой, что неизбежно ведет к их абразивному износу. Проблема износа рабочих органов плуга – лемехов, отвалов и полевых досок – имеет выраженный экономический и технологический характер, так как изменение первоначальной геометрии деталей влечет за собой нарушение агротехнических требований, рост удельного расхода топлива на 15-25 % и существенное снижение производительности машинно-тракторных агрегатов [3, 8, 11-16].

Интенсивность и характер процессов изнашивания не являются константными величинами и в решающей степени зависят от конкретных условий эксплуатации. Ключевое влияние оказывают физико-механические свойства почв, такие как гранулометрический состав, твердость, абразивная способность и влажность. При этом современные тенденции к повышению рабочих скоростей пахотных агрегатов накладывают дополнительные условия на динамику износа, увеличивая путь трения и кинетическую энергию соударения деталей с почвенными включениями [2]. Несмотря на наличие широкого спектра исследований в области триботехники почвообрабатывающих машин, вопросы количественной оценки влияния переменных факторов среды на ресурсный потенциал конкретных деталей остаются актуальными. Научный интерес представляет не только темп убыли массы металла, но и закономерности изменения формы режущих и формующих поверхностей, определяющих качество крошения и оборота пласта [6, 9].

Таким образом, комплексный анализ влияния эксплуатационных факторов на характер износа является необходимым условием для обоснования выбора конструкционных материалов, методов упрочнения и оптимизации режимов работы плугов в различных почвенно-климатических зонах. Целью данной работы является систематизация и оценка воздействия параметров почвенной среды и технологических режимов на интенсивность разрушения рабочих поверхностей почвообрабатывающих органов для разработки рекомендаций по повышению их эксплуатационного ресурса.

Материалы и методы. Рабочий корпус плуга представляет собой сложную пространственную систему, геометрия и функциональная ориентация элементов которой определяют качество основной обработки почвы. К основным рабочим органам, непосредственно взаимодействующим с почвенным массивом и подвергающимся интенсивному износу, относятся лемех, отвал, полевая доска, а также вспомогательные элементы – предплужник и нож. Ведущая роль в технологическом процессе принадлежит лемеху, который предназначен для горизонтального подрезания пласта почвы в плоскости дна борозды.

Конструктивно лемех испытывает наибольшие удельные давления, так как именно на его долотообразный носок и лезвие приходится основное сопротивление деформации сжатия и сдвига почвенного монолита. Носок лемеха обеспечивает заглубляемость плуга и стабильность хода по глубине, выполняя функцию направляющего элемента, в то время как лезвие формирует четкий срез и передает подрезанный пласт на поверхность отвала.

Отвал является логическим продолжением лемеха и выполняет функции подъема, крошения и оборота подрезанного пласта. Его рабочая поверхность имеет сложную криволинейную форму – цилиндрическую, культурную, полувинтовую или винтовую, что определяется требуемой степенью интенсивности воздействия на почву. В процессе работы грудь отвала принимает на себя поток почвы, движущийся с высокой скоростью, что приводит к возникновению значительных сил трения и нормальных напряжений на его поверхности. Крыло отвала завершает технологический цикл, обеспечивая укладку пласта в смежную борозду с полным или частичным оборотом. Плавность перехода между лемехом и отвалом в зоне стыка является критическим параметром: любые геометрические несоответствия в этой области провоцируют застойные зоны почвенной массы и локальную интенсификацию эрозионного износа металла [6].

Для обеспечения устойчивости движения плуга в горизонтальной плоскости и компенсации боковых усилий, возникающих при обороте пласта, используется полевая доска. Она жестко крепится к стойке корпуса и опирается на стенку борозды, предотвращая разворот плуга в сторону необработанного поля и разгружая навеску трактора от крутящих моментов. Взаимодействие полевой доски со стенкой борозды характеризуется постоянным контактным трением, что обуславливает специфический характер её изнашивания по толщине и высоте. Дополнительные рабочие органы, такие как дисковые или черенковые ножи, выполняют вертикальный разрез почвы, облегчая отделение пласта и предотвращая его обрывы, что особенно важно при обработке задерненных и засоренных земель. Таким образом, конструктивное единство и правильная геометрическая настройка всех рабочих органов плуга формируют единый технологический поток, в котором каждая деталь находится в специфических условиях нагружения, предопределяющих кинетику их последующего разрушения под воздействием абразивной среды.

При изучении изношенных лемехов были выявлены наиболее изношенные участки, которые представлены на рисунке 1: это носок лемеха (1), режущая кромка (2) и полевая доска (3). Зоны, подвергающиеся наиболее интенсивному абразивному износу, обозначены цифрами 1 и 2. Носок лемеха, непосредственно контактирующий с почвой, и режущая кромка, отрезающая пласт, являются наиболее уязвимыми участками и определяют ресурс работы всего элемента (1 и 2).

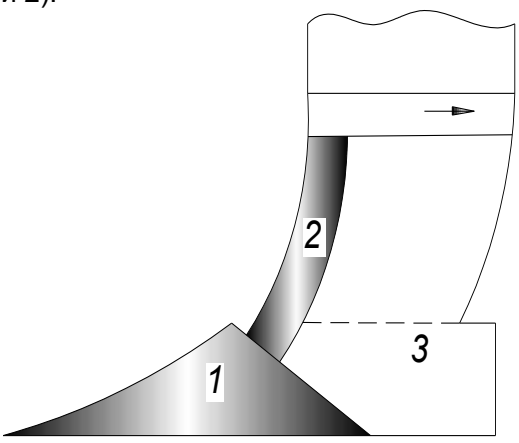


Рисунок 1 – Лемех плуга
Figure 1 – Ploughshare

Классификация факторов, детерминирующих интенсивность и динамику изнашивания рабочих органов плуга, базируется на системном анализе взаимодействия металла с абразивной почвенной средой, что позволяет разделить их на три основные группы: почвенно-климатические, технологические и конструктивно-технические. Ведущую роль в процессе разрушения поверхностных слоев деталей играют физико-механические свойства почвы, среди которых определяющим параметром является её абразивность. Данный по-

казатель напрямую коррелирует с гранулометрическим составом и концентрацией твердых минеральных включений, в частности свободного кварца, твердость которого значительно превышает твердость большинства конструкционных сталей [3]. Вторым по значимости природным фактором выступает влажность почвы, влияние которой носит нелинейный характер: при низких значениях влажности возрастают силы трения и нормальные давления, тогда как при избыточном увлажнении процессы механического истирания могут дополняться коррозионно-электрохимическим воздействием и эффектом залипания, что искажает рабочую геометрию органа [10]. Плотность и твердость почвы также вносят существенный вклад, определяя величину удельных сопротивлений и, как следствие, тепловую напряженность в зоне контакта.

Технологические факторы эксплуатации определяются параметрами настройки машинно-тракторного агрегата и режимами его работы. Одним из наиболее критических факторов здесь является рабочая скорость движения. Увеличение скорости вспашки приводит к резкому возрастанию пути трения и динамических нагрузок, при этом интенсивность износа зачастую пропорциональна квадрату скорости, что объясняется ростом кинетической энергии почвенного потока и частоты соударений с каменистыми включениями [2]. От глубины обработки и ширины захвата корпуса зависит объем перерабатываемой почвенной массы и распределение эпюры давлений по поверхности лемеха и отвала. К этой же группе следует отнести квалификацию персонала и качество проведения ежесменного технического обслуживания, включая контроль затяжки креплений и своевременность очистки рабочих поверхностей, что предотвращает развитие локальных очагов деструкции.

Конструктивно-технические факторы включают в себя как характеристики самих деталей – химический состав металла, технологию термической обработки, микроструктуру и твердость поверхностного слоя, – так и геометрические параметры рабочих органов. Износостойкость существенно зависит от формы носка лемеха, угла крошения и наличия упрочняющих наплавок. Состояние режущей кромки (радиус затупления) выступает не только следствием, но и фактором дальнейшего износа: затупленный лемех провоцирует рост тягового сопротивления и перераспределение напряжений на полевую доску и стойку корпуса. Не менее важным является фактор пространственной ориентации плуга, где любые отклонения от заданных углов атаки приводят к неравномерному износу и преждевременному выходу деталей из строя. Таким образом, износ рабочих органов плуга представляет собой результат сложного синергетического воздействия абразивных свойств среды, заданных режимов работы и физико-химических характеристик самого металла.

Результаты и обсуждение. Имеющиеся технологии в направлении повышения износостойкости лемехов обычно направлены на оптимизацию термической обработки, применение упрочняющих покрытий или конструктивных решений [4, 6]. Вместе с тем оптимизация химического состава стали с целью увеличения абразивной износостойкости рабочих органов является важной задачей, заслуживающей подробного изучения влияния легирующих элементов на структуру, механические свойства и поведение стальных рабочих органов в условиях абразивного изнашивания [3].

Общий износ плужного корпуса при обработке почв с высоким содержанием абразивных частиц, таких как легкие суглинистые, песчаные и супесчаные, может достигать 15 % от всей поверхности, из которой на лемех приходится 10 %, а на отвал 8 %.

Исследование воздействия давления в различных областях лемеха (рисунок 2) и отвала (рисунок 3) [7] показало, что наибольшая нагрузка у отвала приходится на зону 1 и колеблется в пределах от 0,016 до 0,04 МПа, в зависимости от типа обрабатываемой почвы и скорости движения агрегата. Давление на остальной поверхности отвала находится в пределах 0,004…0,005 МПа.

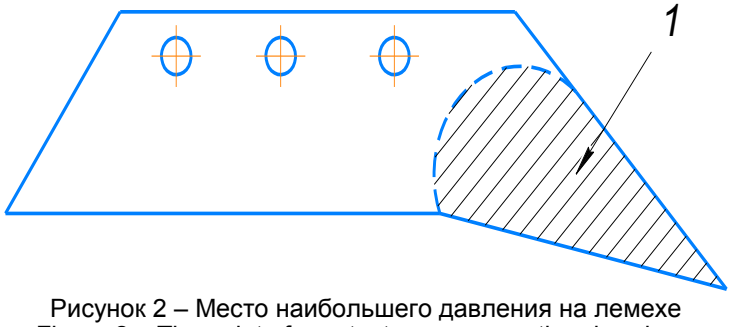


Рисунок 2 – Место наибольшего давления на лемехе
Figure 2 – The point of greatest pressure on the plowshare

У лемеха наиболее нагружена зона 1, как показано на рисунке 3, и находится в интервале от 0,01 до 0,2 Мпа; на остальной поверхности – в пределах 0,01…0,04 МПа.

Данные исследования показывают, что наиболее нагруженные зоны по отношению к остальной поверхности у отвала выше в среднем на 2,8…3,5, а у лемеха 4,0…4,5 раза. Всё это указывает на необходимость повышения износостойкости в наиболее нагруженных зонах рабочих органов сельскохозяйственных машин.

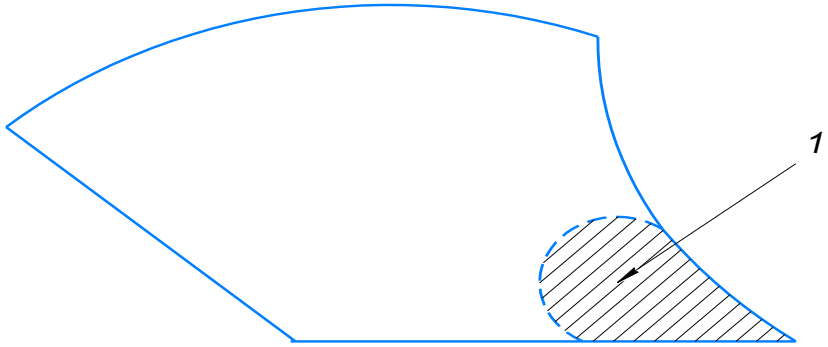


Рисунок 3 – Место наибольшего давления на отвале
Figure 3 – The point of maximum pressure on the dump

Механизм изнашивания рабочих органов плуга представляет собой сложный процесс поверхностного разрушения металла, протекающий в условиях постоянного трения о почвенную массу, которая выступает в роли многофазной абразивной среды. Основным видом деструкции является абразивный износ, проявляющийся в форме микрорезания и пластического деформирования поверхностных слоев металла твердыми минеральными частицами почвы, в частности кристаллами кварца. Наиболее интенсивному и многогранному разрушению подвергается лемех как наиболее нагруженный элемент конструкции. Характер его износа выражается в постепенном затуплении лезвия, уменьшении его ширины и изменении профиля носка [9]. В процессе эксплуатации на нижней стороне лемеха в зоне носка образуется так называемая «затылочная фаска», наличие которой резко увеличивает тяговое сопротивление и препятствует стабильному заглублению плуга. При работе на тяжелых и каменистых почвах абразивное истирание дополняется ударно-механическими повреждениями, приводящими к выкрашиванию режущей кромки, изгибам и появлению трещин, что свидетельствует об абразивно-хрупком характере разрушения.

Износ отвала характеризуется выраженной неравномерностью по его площади, что обусловлено траекторией движения почвенного пласта и распределением нормальных давлений. Наибольшая интенсивность истирания наблюдается в зоне груди отвала, которая первой принимает на себя поток почвы после лемеха. Здесь преобладает гидроабразивный механизм (при высокой влажности) или интенсивное сухое трение, приводящее к постепенному уменьшению толщины листа [6, 10]. На крыле отвала износ менее интенсивен, однако здесь часто наблюдается явление полирующего износа, который, несмотря на сохранение гладкости поверхности, ведет к критическому истончению металла. Характерной особенностью износа отвалов является также локальная эрозия в местах болтовых соединений, где возникающие турбулентные потоки почвенных частиц ускоряют вымывание металла.

Полевая доска изнашивается вследствие постоянного скольжения по стенке борозды, что предопределяет плоскостной характер её истирания. В данном случае износ проявляется в уменьшении толщины и высоты доски, особенно интенсивно со стороны её заднего конца и нижней кромки, контактирующей с дном борозды. Это ведет к потере опорной способности детали и перекосу всего корпуса плуга в горизонтальной плоскости. Вспомогательные органы, такие как дисковые ножи, претерпевают износ преимущественно по периферии диска, что выражается в уменьшении его диаметра и затуплении режущей кромки, снижающем эффективность разрезания растительных остатков. Таким образом, совокупный характер износа рабочих органов плуга сочетает в себе линейное истирание, потерю массы и деформацию геометрических параметров, что в конечном итоге приводит к полной потере работоспособности деталей при достижении ими предельного состояния.

Трансформация геометрических параметров рабочих органов вследствие износа оказывает деструктивное влияние на весь спектр эксплуатационно-технологических показателей машинно-тракторного агрегата (МТА), переводя его работу из оптимального режима в энергозатратный и низкоэффективный. Ключевым негативным последствием является резкое возрастание тягового сопротивления плуга, которое в значительной степени определяется состоянием режущей кромки лемеха. При затуплении лезвия и образовании затылочной фаски со стороны дна борозды процесс резания почвы замещается процессом её смятия и деформирования, что увеличивает силу сопротивления движению на 30-50 % по сравнению с работой новыми деталями [8]. Рост тягового усилия неизбежно ведет к увеличению буксования движителей трактора, что снижает фактическую рабочую скорость и, как следствие, приводит к падению производительности агрегата в среднем на 15-20 %.

Прямым следствием повышения сопротивления и снижения коэффициента полезного действия (КПД) агрегата является существенный рост удельного расхода топлива. Избыточные затраты энергии на преодоление трения затупленных поверхностей и нерациональную деформацию почвенного массива приводят к тому, что расход горючего на один гектар обработанной площади может возрастать на 20-30 %, что критически сказывается на себестоимости сельскохозяйственной продукции [8]. Кроме того, износ оказывает решающее воздействие на агротехнические показатели качества вспашки. Утрата лемехом способности к самозаглублению и нарушение устойчивости хода полевой доски по стенке борозды провоцируют значительную неравномерность глубины обработки. Изношенный отвал не обеспечивает требуемой степени крошения и полного оборота пласта, что приводит к некачественной заделке растительных остатков и сорняков, создавая неблагоприятные условия для последующих этапов технологического цикла.

Дополнительный негативный эффект проявляется в нарушении стабильности движения МТА в горизонтальной плоскости. Неравномерный износ корпусов и полевых досок вызывает появление боковых усилий и изгибающих моментов, которые вынуждают механизатора постоянно корректировать направление движения, увеличивая нагрузку на рулевое управление и ходовую часть трактора. В конечном итоге, эксплуатация плуга с изношенными рабочими органами ведет к ускоренному расходу ресурса всего машинно-тракторного агрегата. Таким образом, влияние износа выходит за рамки простого разрушения металла, становясь системным фактором, снижающим общую энергетическую эффективность и экологическую безопасность почвообработки.

Повышение износостойкости и продление эксплуатационного ресурса рабочих органов плуга является приоритетной задачей агроинженерной науки, решение которой требует комплексного подхода, сочетающего применение инновационных материалов, передовых технологий упрочнения и оптимизацию конструктивных параметров. В настоящее время в этой области находит широкое применение борсодержащих сталей, таких как 30MnB5, вместо традиционно используемых высокоуглеродистых сталей. Использование борсодержащих сталей в сочетании с комбинированной термической обработкой дает возможность получить сочетание достаточно высокой твердости поверхности в пределах 50-55 HRC и вязкой сердцевины детали, что минимизирует риск появления трещин и поломок сельскохозяйственных орудий при столкновении с твёрдыми включениями при обработке почвы [4].

Широкое распространение в практике ремонта и производства получили методы наплавки износостойких сплавов, таких как сормайт, релит или порошковые композиции на основе карбидов вольфрама. Нанесение наплавочного слоя на тыльную сторону лезвия лемеха позволяет реализовать эффект самозатачивания: за счет разности скоростей износа основного металла и твердого сплава в процессе работы постоянно поддерживается минимальный радиус кривизны режущей кромки. Это не только продлевает срок службы детали в 2-3 раза, но и стабилизирует тяговое сопротивление плуга [1, 7]. Перспективным методом является также плазменное и лазерное упрочнение, которые позволяют формировать на поверхности деталей структуры с экстремально высокой микротвердостью и износостойкостью при минимальном термическом воздействии на основной массив металла [5].

Помимо металлургических и технологических методов, значительный ресурс кроется в совершенствовании геометрии и конструктивного исполнения деталей. Применение сменных долот и оборотных лемехов позволяет многократно использовать ресурс основной части детали, заменяя лишь наиболее интенсивно изнашиваемые элементы. Внедрение полимерных композиционных материалов для изготовления накладок на отвалы и полевые доски способствует снижению коэффициента трения и исключает залипание почвы,

что косвенно снижает интенсивность механического износа. Наконец, важным фактором продления ресурса остается соблюдение регламентов технического обслуживания и точная настройка углов установки рабочих органов, что предотвращает развитие неравномерного износа и перенапряжение отдельных элементов конструкции. Таким образом, интеграция материаловедческих решений и рациональных приемов эксплуатации позволяет существенно повысить долговечность почвообрабатывающих машин и снизить удельные затраты на проведение полевых работ.

Проведенный анализ влияния условий эксплуатации на интенсивность и характер износа рабочих органов плуга позволяет сделать ряд обобщающих выводов, имеющих как теоретическое, так и практическое значение для агроинженерной сферы. Установлено, что износ деталей почвообрабатывающих машин является сложным физико-механическим процессом, протекающим под определяющим воздействием абразивных свойств почвенной среды и технологических режимов работы. Ключевым фактором, детерминирующим темпы разрушения металла, выступает гранулометрический состав почвы и концентрация твердых минеральных включений, в частности свободного кварца; при этом интенсивность истирания рабочих органов существенно возрастает.

Характер износа основных деталей – лемехов, отвалов и полевых досок – проявляется не только в потере их массы, но и в критической трансформации первоначальной геометрии. Образование «затылочной фаски» на лемехах и истончение груди отвала приводят к резкому снижению эксплуатационных характеристик машинно-тракторного агрегата. Как показало исследование, использование изношенных рабочих органов влечет за собой рост тягового сопротивления до 50 %, увеличение удельного расхода топлива на 20-30 % и существенное ухудшение качества вспашки, выражающееся в нарушении стабильности глубины хода и неполном обороте пласта.

Для минимизации негативного влияния эксплуатационных факторов необходимо внедрение комплексной стратегии повышения износостойкости. Наиболее перспективными направлениями являются применение комплексного упрочнения, направленного на создание равнопрочного по износу узла, и использование технологий наплавки износостойких сплавов с реализацией эффекта самозатачивания. В сочетании с точной настройкой агротехнических параметров и своевременным техническим обслуживанием данные меры позволяют значительно продлить ресурс рабочих органов, повысить энергетическую эффективность почвообработки и снизить себестоимость сельскохозяйственной продукции.

Повышение износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин за счёт нанесения твердосплавных покрытий влечет за собой риск появления трещин и поломки рабочих органов из-за столкновений с твердыми включениями почвы, а также повышения стоимости рабочего органа по причине высокой стоимости легирующих компонентов, входящих в состав твердосплавных покрытий.

Ввиду ограниченности применения из-за указанных недостатков традиционных методов упрочнения рабочих органов, представлено инновационное решение для повышения их износостойкости. Данный метод позволяет использовать более доступные низкоуглеродистые стали, направленно обогащая углеродом участки, наиболее подверженные износу [3-4]. Это приводит к существенному увеличению срока службы рабочих органов и, как следствие, к снижению затрат на их замену и обслуживание.

Для реализации новой технологии по перераспределению углерода под действием температурного градиента была разработана лабораторная установка (схема на рисунке 4) для создания и поддержания стабильного градиента температур вдоль образца.

Как показано на схеме, нагрев одного из торцов образца (3) осуществлялся с помощью электрической плиты (1) мощностью 1,5 кВт. Температура плиты поддерживалась в пределах 1050-1100 ˚С и регулировалась ПИД-регулятором, который позволял достичь требуемой температуры в месте контакта образца с нагревательной плитой в 1000 ˚С. Для обеспечения эффективного теплообмена применялась тонкая прослойка высокотемпературной пасты.

Противоположный торец образца охлаждался массивным медным водоохлаждаемым холодильником (4), оснащённым внутренними каналами для циркуляции воды. Постоянство температуры входящей воды (15…20 ˚С) и расход (5 л/мин) обеспечили хороший отвод теплоты и постоянство температуры охлаждаемой поверхности торца образца в пределах 70 ˚С, которая контролировалась контактной термопарой.

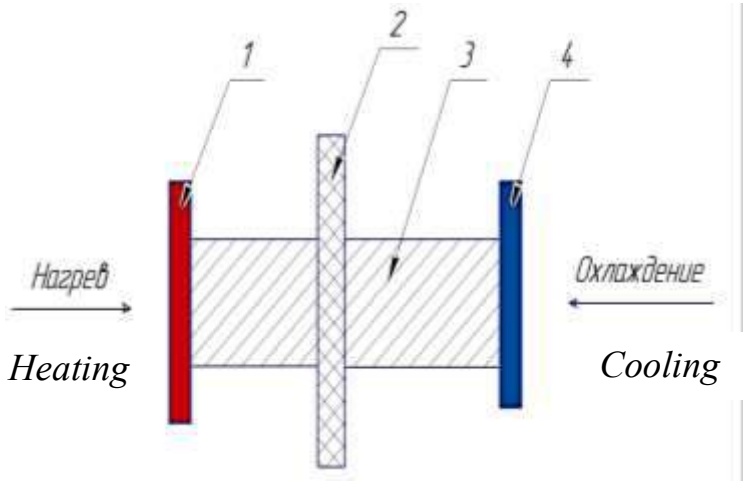


Рисунок 4 – Схема эксперимента по перераспределению углерода:
1 – нагревательная плита; 2 – экран; 3 – образец; 4 – водоохлаждаемый холодильник
Figure 4 – Scheme of the carbon redistribution experiment:
1 – heating plate; 2 – screen; 3 – sample; 4 – water-cooled refrigerator

С целью создания локального перепада температур и минимизации тепловых потерь на расстоянии 30 мм от нагреваемого торца на образце был установлен асбестокерамический экран (2) толщиной 5 мм. Наличие и данное расположение экрана способствовало хорошему формированию градиента температур в центральной части образца; именно там происходили фазовые превращения и интенсивное диффузионное движение углерода. Для стабилизации температурного поля боковые поверхности образца в зоне нагрева были покрыты каолиновой ватой.

Контроль распределения температуры вдоль оси образца осуществлялся с помощью трёх хромель-алюмелевых термопар диаметром 0,5 мм, которые были установлены в предварительно просверленные отверстия глубиной 1-1,5 мм на боковой поверхности образца, соответственно в зоне горячего и холодного торца, а также в центральной части. Такое расположение термопар позволило получать детальную картину распределения температур для анализа процесса диффузии углерода. Показания термопар фиксировались с помощью многоканального измерителя температуры. Процесс установления стационарного градиента температур осуществлялся в течение 20 минут после начала нагрева и охлаждения.

Технологическими особенностями заявленного способа, позволившими осуществить перенос углерода, являются:

- одновременный предварительный подогрев образца нагревательной плитой с одной стороны и охлаждение холодильником с другой его стороны;
- установка асбестокерамического экрана между нагревательной плитой и медным водоохлаждаемым холодильником.

В ходе исследования, включавшего одновременный нагрев и охлаждение стального образца, было установлено, что в зоне между холодильником и экраном структура образца в этой области сохранила исходное состояние, не претерпев изменений в процессе эксперимента. В области экрана наблюдалось формирование двухфазной аустенитно-ферритной структуры. Зона между экраном и нагревательной плитой получила полностью аустенитную структуру.

Перераспределение углерода, составившее 0,08-0,09 % от массы, происходило за счёт миграции, что привело к увеличению его концентрации в нагреваемой части образца и снижению в зоне экрана при температуре около 800 ˚С. Фиксация полученного распределения углерода была осуществлена путём одновременного прекращения нагрева и охлаждения образца до достижения термического равновесия по всему объёму.

Последующие испытания на твёрдость по методу Роквелла показали значительное повышение твёрдости с исходного значения 43 HRC до 59 HRC, что подтверждает факт перераспределения углерода и его влияние на механические свойства. Для достоверности массопереноса углерода в горячие зоны образца и подтверждения улучшения его эксплуатационных характеристик были проведены испытания на абразивную износостойкость.

Сравнительные испытания экспериментальных образцов, подвергавшихся одновременному нагреву и охлаждению с целью перераспределения углерода, с исходными образцами проводились в условиях постоянной нагрузки на абразивный круг. Измерение массы образцов после 60 секунд трения определялось взвешиванием. По полученным данным абразивного износа был построен график зависимости величины износа от продолжительности испытаний, наглядно демонстрирующий повышенную износостойкость экспериментальных образцов (рисунок 5).

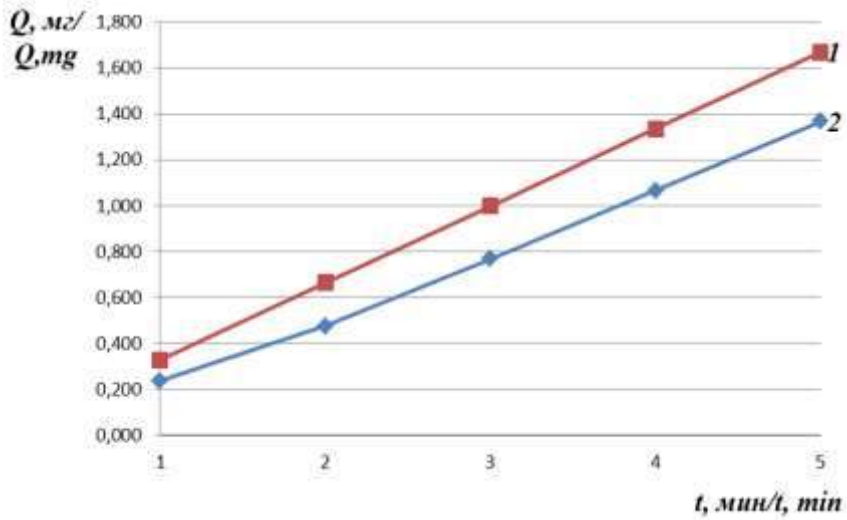


Рисунок 5 – График зависимости величины износа при трении образцов от продолжительности испытаний
1 – кривая износа исходного образца; 2 – кривая износа образца с углеродным перераспределением
Figure 3 – Graph of the dependence of the amount of wear during friction of samples on the duration of the tests
1 – the wear curve of the initial sample; 2 – the wear curve of the sample with carbon redistribution

Испытания износа образцов продолжались в течение пяти минут, и, как видно из графика, износ исходного образца выше на 30 % по отношению к экспериментальному; это также доказывает эффективность применения технологии по перераспределению углерода.

Заключение. Представленная технология показала, что под действием температурного градиента в течение 20 минут осуществился диффузионный перенос углерода в соответствии с созданным градиентом его термодинамической активности, а именно – перераспределение углерода в горячие слои образца без угрозы образования горячих и холодных трещин. За счёт градиентной структуры, образовавшейся в сечении образца, произошло создание более твёрдой и износостойкой рабочей поверхности в зонах интенсивного износа в сочетании с менее твёрдой, но более вязкой сердцевиной – менее нагруженной зоной детали. Такой массоперенос углерода может повысить общий ресурс рабочих органов сельскохозяйственных машин, вместе с тем он снизит риск хрупкого разрушения при ударных нагрузках, характерных для деталей после закалки и наплавки износостойкими покрытиями. Локальное упрочнение по разработанной технологии за счет термодиффузионного перераспределения собственного углерода стали дает возможность снизить стоимость рабочих органов сельскохозяйственных машин по сравнению с традиционными методами упрочнения (объемной закалкой, наплавкой), потенциально позволяя повысить долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин, изготовленных из относительно недорогих сталей, без угрозы образования трещин и отслоений, характерных для наплавочных технологий.

Conclusion. The presented technology has shown that under the influence of the temperature gradient, within 20 minutes, the diffusion transfer of carbon was carried out in accordance with the created gradient of its thermodynamic activity, namely the redistribution of carbon into the hot layers of the sample without the threat of the formation of hot and cold cracks. Due to the gradient structure formed in the cross-section of the sample, the creation of a more hard and wear-resistant working surface in the areas of intensive wear, in combination with a less hard but more viscous core of a less loaded zone of the part. Such carbon mass transfer can increase the overall service life of agricultural machinery components, while also reducing the risk of brittle failure under impact loads, which is common for parts that have been hardened or coated with wear-resistant materials. Local hardening using the developed technology, based on the thermos-diffusion redistribution of the steel's own car-

bon, allows for a reduction in the cost of agricultural machinery components compared to traditional methods of hardening (such as bulk hardening and surfacing), potentially increasing the durability of soil-processing machinery components made from relatively inexpensive steels without the risk of cracks and delamination associated with surfacing technologies.

Библиографический список

1. Апатенко А. С., Пындак В. В. Совершенствование технологии упрочнения лемехов плугов для работы в условиях абразивного изнашивания. Вестник аграрной науки. 2022. № 4 (97). С. 82-88.
2. Артемьев В. Г., Еремин Н. В. Исследование динамики износа режущих кромок почвообрабатывающих машин в зависимости от скорости движения МТА. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 2. С. 44-51.
3. Беляев Е. А., Хакимов И. Р. Оценка влияния физико-механических свойств почв на долговечность рабочих органов плугов. Тракторы и сельхозмашины. 2023. № 1. С. 15-23.
4. Грибенченко А. В., Бородушкин Е. С. Технология повышения абразивной износостойкости стальных деталей рабочих органов плуга. Агропродовольственная политика России. 2025. № 3 (116). С. 25-31.
5. Ерохин М. Н., Казанцев С. П. Перспективные материалы и технологии повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин. Инновации в сельском хозяйстве. 2024. № 1 (48). С. 112-120.
6. Коломейченко А. В., Кузнецов И. С. Восстановление и упрочнение деталей плугов методами электромеханической обработки. Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2023. № 8. С. 34-39.
7. Михальченков А. М., Тюрева А. А. Распределение абразивного износа на поверхностях отвалов в зависимости от типа почв Нечерноземья. Агроинженерия. 2021. № 3 (103). С. 58-64.
8. Овчинников В. А. Оптимизация параметров наплавки для создания самозатачивающихся лемехов плуга. Научное обозрение. Технические науки. 2024. № 2. С. 45-50.
9. Пархоменко Г. Г., Камбулов С. И. Энергосберегающие технологии обработки почвы: влияние технического состояния рабочих органов на расход топлива. АПК России. 2022. Т. 29. № 3. С. 312-318.
10. Сидоров С. А., Козлов Д. В. Математическое моделирование износа рабочих органов плуга с использованием метода дискретных элементов (DEM). Вестник МГАУ им. В. П. Горячкина. 2025. № 1. С. 22-29.
11. Филиппов П. А. Влияние коррозионно-механических факторов на долговечность отвалов плугов при работе на переувлажненных почвах. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2023. № 5. С. 18-24.
12. Шарипов Ш. М., Абдуллаев Р. К. Триботехнические характеристики боросодержащих сталей в условиях интенсивного абразивного воздействия. Трение и износ. 2022. Т. 43. № 4. С. 401-409.
13. Воробьева Н. С., Жога В. В., Несмиянов И. А. Отслеживание приводами манипулятора параллельно-последовательной структуры программных перемещений рабочего органа Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2019. № 2. С. 154-165.
14. Gribenchenko A. V. et al. Strukturing carbon alloys due to carbon mass transfer. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. № 341. Art. 012137.
15. Motorin V. A. et al. Conceptual model of zonal structuring of functional areas of working elements for soil treatment. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. № 341. Art. 012139.
16. Nesmianov I., Vorob'Eva N., Dyashkin-Titov V., Zhoga V., Skakunov V., Terekhov S., Egunov V., Al-Hadsha F. A. H. Synthesis of control algorithm and computer simulation of robotic manipulator-tripod. Communications in Computer and Information Science. 2015. V. 535. Pp. 391-403.

References

1. Apatenko A. S., Pynadak V. V. Improving the technology for hardening the share blades of plows for operation under conditions of abrasive wear. Bulletin of the Agrarian Science. 2022. No 4 (97). Pp. 82-88.
2. Artemyev V. G., Eremin N. V. Study of the dynamics of wear on the cutting edges of tillage machines depending on the speed of the MTA. Agricultural Machines and Technologies. 2021. Vol. 15. No 2. Pp. 44-51.
3. Belyaev E. A., Khakimov I. R. Assessment of the influence of the physical and mechanical properties of soils on the durability of plow working parts. Tractors and Agricultural Machinery. 2023. No 1. Pp. 15-23.
4. Gribenchenko A. V., Borodushkin E. S. Technology for increasing the abrasion wear resistance of steel parts of plow working parts. Agro-food policy of Russia. 2025. No 3 (116). Pp. 25-31.
5. Erokhin M. N., Kazantsev S. P. Promising materials and technologies for increasing the wear resistance of working parts of soil-cultivating machines. Innovations in Agriculture. 2024. No 1 (48). Pp. 112-120.
6. Kolomeichenko A. V., Kuznetsov I. S. Restoration and hardening of plow parts using electromechanical processing methods. Repair. Recovery. Modernization. 2023. No 8. Pp. 34-39.
7. Mikhalchenkov A. M., Tyureva A. A. Distribution of abrasive wear on the surfaces of moldboards depending on the type of soil in the Non-Black Earth Region. Agricultural engineering. 2021. No 3 (103). Pp. 58-64.
8. Ovchinnikov V. A. Optimization of surfacing parameters for creating self-sharpening plowshares. Scientific Review. Technical Sciences. 2024. No 2. Pp. 45-50.
9. Parkhomenko G. G., Kambulov S. I. Energy-saving soil cultivation technologies: the influence of the technical condition of working parts on fuel consumption. Agro-Industrial Complex of Russia. 2022. Vol. 29. No 3. Pp. 312-318.
10. Sidorov S. A., Kozlov D. V. Mathematical modeling of wear of plow working parts using the discrete element method (DEM). Proceedings of the MGAU named after V. P. Goryachkin. 2025. No 1. Pp. 22-29.
10. Sidorov S. A., Kozlov D. V. Mathematical modeling of wear of plow working parts using the discrete element method (DEM). Proceedings of the MGAU named after V. P. Goryachkin. 2025. No 1. Pp. 22-29.
11. Filippov P. A. The influence of corrosion-mechanical factors on the durability of plow blades when working on waterlogged soils. Mechanization and electrification of agriculture. 2023. No 5. Pp. 18-24.

12. Sharipov Sh. M., Abdullaev R. K. Tribotechnical characteristics of boron-containing steels under conditions of intense abrasive impact. Friction and Wear. 2022. Vol. 43. No 4. Pp. 401-409.
13. Vorobyova N. S., Zhoga V. V., Nesmiyanov I. A. Tracking the parallel-serial structure of programmed movements of the working element by manipulator drives. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and Control Systems. 2019. No 2. Pp. 154-165.
14. Gribenchenko A. V. et al. Strukturing carbon alloys due to carbon mass transfer. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. № 341. Art. 012137.
15. Motorin V. A. et al. Conceptual model of zonal structuring of functional areas of working elements for soil treatment. Conference on Innovations in Agricultural and Rural development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. № 341. Art. 012139.
16. Nesmianov I., Vorob'Eva N., Dyashkin-Titov V., Zhoga V., Skakunov V., Terekhov S., Egunov V., Al-Hadsha F. A. H. Synthesis of control algorithm and computer simulation of robotic manipulator-tripod. Communications in Computer and Information Science. 2015. V. 535. Pp. 391-403.

Информация об авторах
Грибенченко Алексей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград проспект Университетский, 26), e-mail: gribenchenkoaleksey@mail.ru
Моторин Вадим Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград проспект Университетский, 26), e-mail: vmotorin001@yandex.ru
Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград проспект Университетский, 26), e-mail: gds-08@mail.ru
Айтмуратов Марат Тажимуратович, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград проспект Университетский, 26), e-mail: gribenchenkoaleksey@mail.ru
Бородушкин Егор Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград проспект Университетский, 26), e-mail: borodushkin99@mail.ru

Authors' Information
Gribenchenko Aleksey Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: gribenchenkoaleksey@mail.ru
Motorin Vadim Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vmotorin001@yandex.ru
Gapich Dmitry Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: gds-08@mail.ru
Aytmuratov Marat Tazhimumratovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: gribenchenkoaleksey@mail.ru
Borodushkin Egor Sergeevich, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: borodushkin99@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-65

THE VIRTUAL SENSORS SYNTHESIS FOR THE SELF-PROPELLED AGRICULTURAL MACHINES TECHNICAL CONDITION MONITORING

Pomogaev V. M.

Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin
Omsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vm.pomogaev@omgau.org

Received 17.02.2026 Submitted 01.07.2026

Summary
The study aims to scientifically substantiate a methodology for synthesizing virtual sensors for self-propelled agricultural machines. A cybernetic approach is used to estimate parameters via onboard network data (SAE J1939). A hierarchical Edge-Cloud architecture and a ten-step synthesis algorithm, including signal preprocessing and TinyML, are proposed. Effectiveness is confirmed by monitoring a combine harvester's threshing drum belt. The system detects micro-slip (1 %), allowing for maintenance scheduling during technological pauses. Results show an increase in the technical availability factor by 0.03. Implementing the methodology ensures a transition to predictive maintenance, enhancing fleet reliability without additional hardware costs amidst the digital transformation of agriculture.

Abstract
Introduction. Relevance: This research paper examines the pressing issue of improving the reliability and operational efficiency of self-propelled agricultural machinery through the implementation of intelligent condition monitoring systems. Traditional monitoring methods based on physical sensors are limited by their high cost, difficulty installing them in hard-to-reach areas, and vulnerability to aggressive environments (dust, vibration). Virtual sensors, which utilize algorithmic processing of data already stored in the CAN bus, represent a cost-effective alternative for implementing a predictive maintenance strategy for machinery and tractor fleets. **Object.** The processes of generating, transmitting, and intelligently processing diagnostic information on the technical condition of components and assemblies of self-propelled agricultural machinery within the SAE J1939 protocol. **Materials and methods.** The study relies on a cybernetic description of the machine as a dynamic system in state space. Methods of automatic control theory, Luenberger observers,

and machine learning algorithms are used. To demonstrate the feasibility of the proposed method, a virtual sensor for measuring belt slippage in a combine harvester's threshing drum drive was developed using simulation modeling. **Results and conclusions.** A comprehensive ten-step methodology was developed for synthesizing robust virtual sensors for agricultural engineering. Four basic feature extraction mechanisms are described: inertial, balance, kinematic, and stochastic. Testing the methodology using a threshing drum drive belt demonstrated the system's ability to detect microslippage (from 1 %) in the early stages of degradation, approximately 1-3 hours before failure. This enables timely belt replacement during downtime without interrupting the harvesting process. Mathematical modeling confirmed that the implementation of these algorithms increases the machine availability factor by 0,03 percentage points. It is concluded that the transition to predictive diagnostics based on virtual sensors significantly reduces operational risks and increases the efficiency of using self-propelled agricultural machinery without increasing hardware costs.

Keywords: *virtual control sensors, technical diagnostics of agricultural machines, J1939 protocol, machine learning, predictive maintenance, availability rate.*

Citation. Pomogaev V. M. The virtual sensors synthesis for the self-propelled agricultural machines technical condition monitoring. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 587-593 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-65.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.3.076:681.518.5:004.896

СИНТЕЗ ВИРТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Помогаев В. М., *кандидат экономических наук, доцент*

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина
г. Омск, Российская Федерация

Актуальность. В данной статье рассматривается актуальная проблема повышения надежности и эффективности эксплуатации самоходных сельскохозяйственных машин за счет внедрения интеллектуальных систем мониторинга технического состояния. Традиционные методы контроля, основанные на физических датчиках, ограничены сложностью монтажа в труднодоступных узлах и уязвимостью к воздействию агрессивной среды (пыль, вибрация). Виртуальные датчики, использующие алгоритмическую обработку уже имеющихся в CAN-шине данных, представляют собой альтернативу для реализации стратегии обслуживания машинно-тракторного парка по состоянию. **Объект.** Процессы формирования, передачи и интеллектуальной обработки диагностической информации о техническом состоянии узлов и агрегатов самоходных сельскохозяйственных машин в рамках протокола SAE J1939. **Материалы и методы.** Исследование опирается на кибернетическое описание машины как динамической системы в пространстве состояний. Использованы методы теории автоматического управления, наблюдатели Люенбергера и алгоритмы машинного обучения. Для иллюстрации применения предложенной методики выполнено имитационное моделирование формирования диагностического признака проскальзывания ремня привода молотильного барабана зерноуборочного комбайна. **Результаты и выводы.** Сформулирована комплексная методика из десяти этапов, позволяющая синтезировать робастные виртуальные измерители для нужд агроинженерии. Описаны четыре базовых механизма извлечения признаков: инерциальный, балансовый, кинематический и стохастический. Проверка методики на примере ремня привода молотильного барабана показала способность системы выявлять микропробуксовку (от 1 %) на ранних стадиях деградации, примерно за 1-3 часа до отказа. Это позволяет своевременно планировать замену ремня в периоды технологических остановок, не прерывая уборочный процесс. Математическое моделирование подтвердило, что внедрение данных алгоритмов повышает коэффициент технической готовности машин на 0,03 п. п. Сделан вывод, что переход к предсказательной диагностике на базе виртуальных датчиков существенно снижает эксплуатационные риски и повышает эффективность использования самоходных сельскохозяйственных машин без наращивания аппаратных затрат.

Ключевые слова: *виртуальные датчики контроля, техническая диагностика сельскохозяйственных машин, протокол J1939, машинное обучение, предсказательное обслуживание, коэффициент готовности.*

Цитирование. Помогаев В. М. Синтез виртуальных датчиков для контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 587-593. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-65.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современный этап развития агропромышленного комплекса характеризуется стремительным переходом к концепции «Индустрия 4.0», где ключевую роль играют интеллектуальные системы мониторинга и управления [1-3]. Одной из наиболее острых проблем эксплуатации самоходных сельскохозяйственных машин (ССМ), таких как зерноуборочные комбайны и энергонасыщенные тракторы, остается обеспечение их высокой работоспособности в условиях предельно сжатых агротехнических сроков. Традиционные системы контроля, полагающиеся исключительно на физические датчики, сталкиваются с рядом ограничений, связанных с высокой стоимостью аппаратного обеспечения, подверженностью сенсоров воздействию агрессивных сред (пыль, вибрация, влага) и невозможностью прямого измерения ряда критических параметров [4, 5].

Целью данного исследования является разработка и научное обоснование методики синтеза виртуальных датчиков, способных расширить диагностические возможности ССМ без удорожания их аппаратной части. Научная новизна работы заключается в формировании комплексного подхода, сочетающего классическую теорию наблюдателей состояния с современными методами интеллектуального анализа данных (Big Data) и технологиями граничных вычислений (Edge Computing). Значимость работы определяется возможностью перехода к стратегии обслуживания по состоянию и моделям предсказательного обслуживания, что позволяет минимизировать простои и повысить коэффициент готовности техники.

В последние годы вопросы интеллектуальной диагностики активно исследуются как в России, так и за рубежом. Настоящее исследование построено на фундаментальных основах системного анализа надежности ССМ, заложенных в работах российских ученых [6-8]. Использованы современные зарубежные исследования по использованию нейросетевых технологий, глубокого обучения (LSTM, CNN) и концепции «цифровых двойников» (Digital Twins) для оценки состояния агромашин [9-11]. Однако проблема синтеза робастных виртуальных измерителей, адаптированных к специфической стохастике нагрузок и шумов реальной эксплуатации в сельском хозяйстве, остается недостаточно проработанной, что и определило выбор темы данной статьи [12].

Материалы и методы. Методологическую базу исследования составили принципы системного анализа, методы теории автоматического управления (в частности, теория наблюдателей состояния Люенбергера и фильтрация Калмана) и алгоритмы машинного обучения. Информационным базисом послужили данные бортовых сетей ССМ, транслируемые по протоколу SAE J1939, который является отраслевым стандартом для мобильных машин.

Для разработки и верификации моделей применялись аппарат математической статистики, теория информации и методы имитационного моделирования. Объектом исследования выступали информационные потоки в системе «машина – среда – технологический процесс». В качестве входных сигналов использовались архивные телеметрические данные CAN-шины по протоколу SAE J1939: частота вращения коленчатого вала двигателя и частота вращения барабана, регистрируемая штатным датчиком и передаваемая в бортовую систему контроля. Схема исследования предусматривала последовательное выполнение десяти этапов: от идентификации ненаблюдаемого параметра и аудита доступных сигналов до оптимизации нейросетевых моделей и их интеграции в бортовые контроллеры. Обоснование выбора данных методов обусловлено необходимостью достижения высокой точности оценивания (коэффициент детерминации $R^2 \geq 0{,}9$) при ресурсных ограничениях вычислительных мощностей бортовых ЭБУ.

Результаты и обсуждение. В рамках кибернетического подхода к технической диагностике виртуальный датчик (ВД) рассматривается как функциональный элемент системы управления, реализующий программное отображение вектора измеряемых физических величин в вектор целевых диагностических параметров [13, 14]. Математически динамика ССМ как объекта контроля в пространстве состояний описывается уравнениями (1) и (2):

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k \quad (1)$$

$$y_k = Cx_k + Du_k + v_k \quad (2)$$

где x_k – вектор внутренних состояний; u_k – вектор управляющих воздействий; y_k – наблюдаемые выходы, доступные в CAN-шине; w_k и v_k – векторы шумов процесса и измерений соответственно; A, B, C, D – матрицы, определяющие динамические свойства объекта.

Для реализации виртуального датчика необходимо выполнение условия наблюдаемости: матрица $O = [C, CA, CA^2, \dots, CA^{n-1}]^T$ должна иметь полный ранг. В реальных условиях эксплуатации ССМ матрица наблюдения *C* часто характеризуется нестабильностью вследствие высокого уровня шумов u_k, что требует использования гибридных подходов, сочетающих физические уравнения с методами стохастической аппроксимации.

Для эффективного функционирования ВД предлагается двухуровневая архитектура обработки данных. На бортовом уровне (Edge Layer) контроллер (ECU) выполняет высокочастотную фильтрацию и расчеты в реальном времени. Это минимизирует объем передаваемой телеметрии. На облачном уровне (Cloud Layer) серверы обеспечивают долгосрочное хранение данных и глубокий ретроспективный анализ. Здесь обучаются ресурсоемкие модели (RNN/LSTM) для выявления трендов деградации узлов. Результаты обучения в виде весовых коэффициентов передаются обратно на борт через механизмы беспроводного обновления, обеспечивая непрерывную адаптацию системы без вмешательства в аппаратную часть. Сравнительный анализ физических и виртуальных датчиков в ССМ представлен в таблице.

Таблица 1 – Сравнительный анализ физических и виртуальных датчиков в ССМ
Table 1 – Comparative analysis of physical and virtual sensors in self-propelled agricultural machines

Характеристика / Characteristic	Физический датчик / Physical sensor	Виртуальный датчик / Virtual sensor
Природа данных / Nature of data	Прямое физическое преобразование / Direct physical conversion	Косвенная оценка через модели / Indirect evaluation through models
Стоимость масштабирования / Cost of scaling	Линейно растет / Linearly grows	Минимальна (копирование кода) / Minimal (code copying)
Надежность в агрессивной среде / Reliability in an aggressive environment	Подвержен коррозии, вибрациям / Corrosion, vibrations	Обладает программной стабильностью / Programmatic stability
Типичные объекты контроля / Typical objects of control	Температура, давление, обороты / Temperature, pressure, speed	Крутящий момент, износ, буксование / Torque, wear, slipping
Основной риск / Main risk	Механический отказ / Mechanical failure	Ошибки моделирования, дрейф данных / Modeling errors, data drift

Разработка ВД для ССМ включает следующие этапы: (1) идентификация задачи и выбор целевого параметра; (2) аудит доступных входных сигналов SPN протокола J1939; (3) сбор логов и формирование обучающей выборки; (4) предобработка и очистка данных (удаление выбросов, синхронизация); (5) выделение информативных признаков (PCA, корреляционный анализ); (6) выбор архитектуры модели; (7) обучение и настройка весовых коэффициентов; (8) валидация на отложенной выборке ($R^2 \geq 0{,}9$)); (9) интеграция в микрокод бортового контроллера (в случае реализации концепции «обработка на борту»); (10) мониторинг дрейфа и адаптация через фильтры Калмана или EWMA.

В основе методики лежат четыре механизма извлечения информации из CAN-шины:

1. Динамическая инерциальная идентификация. Оценка момента двигателя M_{ef} на основе углового ускорения вала $d\omega/dt$ в режимах «выбега».
2. Физико-энергетический баланс. Оценка нагрузки на рабочий орган путем вычитания затрат на передвижение из общей мощности двигателя.
3. Кинематическая согласованность. Мониторинг пробуксовки *S* через сопоставление частот вращения ведущего и ведомого валов с учетом передаточного числа i_0.
4. Стохастическая аппроксимация. Использование ансамблевых методов для предсказания нелинейных параметров процесса.

Для практического подтверждения работоспособности методики была реализована модель виртуального датчика проскальзывания ремня привода молотильного барабана зерноуборочного комбайна ACROS 585. На комбайнах данной марки устанавливаются двигатели (например, ЯМЗ или Cummins) с электронным управлением, поддерживающим стандарт SAE J1939.

Частота вращения двигателя (n_{eng}). Номинальные рабочие обороты двигателя при обмолоте обычно составляют около 2000-2200 об/мин.

Частота вращения барабана (n_{drum}). Для ACROS 585 стандартный диапазон оборотов молотильного барабана составляет 400-1045 об./мин. (без понижающего редуктора).

В качестве входных сигналов использовались архивные телеметрические данные CAN-шины по протоколу SAE J1939: частота вращения коленчатого вала двигателя (n_{eng}, SPN 190) и частота вращения барабана (n_{drum}), регистрируемая штатным датчиком и передаваемая в бортовую систему контроля. Номинальное передаточное число привода составило 4,76 (что соответствует 420 об./мин. барабана на 2000 об./мин. двигателя при отсутствии буксования). Номинальный коэффициент передачи в нормальном режиме составляет 0,21.

Виртуальный датчик в реальном времени вычисляет текущую степень буксования $S = 1 - n_{drum}/(n_{eng} \cdot i_0)$. Для подавления ложных срабатываний, вызванных динамическими нагрузками и шумами шины, применено экспоненциальное взвешенное скользящее среднее. В алгоритм заложены два уровня реагирования:

1. Предупредительный порог (1 % микропробуксовки). Длительное (более 2 секунд) превышение этого уровня свидетельствует о естественном растяжении ремня или начале деградации его кордовой структуры. Оператору выдается рекомендация проверить натяжение в ближайшую технологическую паузу.
2. Аварийный порог (3 % и выше). Немедленная идентификация критического буксования, указывающего на перегрузку барабана или риск обрыва ремня. Система может автоматически инициировать снижение скорости подачи массы.

Алгоритм реализован в среде имитационного моделирования на основе массивов реальных эксплуатационных логов, в которые программно вводились сценарии деградации ременной передачи. Для этого в части записей изменялась зависимость между частотами вращения ведущего и ведомого валов, что имитировало различные уровни проскальзывания при сохранении статистики внешних воздействий и режимов работы комбайна. Использование реальных временных рядов обеспечило сохранение характерной структуры шумов, переходных процессов и режимов нагрузки, а также позволило оценить поведение виртуального датчика в широком диапазоне эксплуатационных ситуаций. Виртуальный датчик успешно зафиксировал 100 % случаев критической пробуксовки ($> 5\,\%$) без ложных срабатываний.

Эффективность внедрения виртуальных датчиков оценивается через коэффициент технической готовности ($K_Г$), который в общем виде определяется как (3):

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_v} \quad (3)$$

где T_o – наработка на отказ (среднее время полезной работы); T_v – среднее время восстановления (ремонта).

Традиционная реактивная стратегия приводит к тому, что обрыв ремня (или его растяжение, которое вызывает проскальзывание привода МСУ и повышает риск забивания зерновой массой) происходит внезапно в разгар уборочной смены. Это влечет за собой длительный простой (T_v) и потерю агротехнических сроков.

Использование виртуального датчика позволяет перевести отказ в разряд управляемых событий. При обнаружении микропробуксовки (1 %) в дневное время оператор завершает смену, а замена ремня производится превентивно в период планового технологического простоя (например, ночью или ранним утром, когда уборка невозможна из-за выпадения росы). В этом случае внеплановый простой (T_v) в рабочее время фактически исключается или сводится к минимуму.

Математическое моделирование на основе собранных данных показало, что такая стратегия позволяет повысить ($K_Г$) на 0,03 п. п. Несмотря на малую величину, для парка из 10 комбайнов это эквивалентно получению дополнительно около 20 продуктивных часов в сезон, что критически важно для соблюдения сроков уборки и минимизации потерь зерна.

Заключение. Разработанная и научно обоснованная методика синтеза виртуальных датчиков является эффективным инструментом цифровой трансформации системы технической эксплуатации самоходных сельскохозяйственных машин. Виртуальный датчик представляет собой программно-алгоритмический модуль, решающий задачу идентификации состояния в условиях высокой неопределенности и агрессивности внешней среды. Предложенный десятиэтапный алгоритм синтеза обеспечивает систематический переход от «сырых» сигналов CAN-шины к высокоуровневым диагностическим дескрипторам с доказанной точностью ($R^2 \geq 0{,}9$). Идентификация четырех механизмов формирования признаков позволяет охватить мониторингом большинство систем ССМ – от двигателя и трансмиссии до рабочих органов. Практическая верификация на примере ремня МСУ доказала возможность обнаружения деградации узла за 1-3 часа до отказа, что позволяет перенести ремонтные работы на периоды технологических остановок. Использование виртуальных датчиков обеспечивает рост коэффициента технической готовности ($K_Г$) на 0,03 п. п. без установки дополнительного аппаратного обеспечения, что подтверждает высокую экономическую и техническую значимость методики.

Conclusion. The developed and scientifically substantiated methodology for synthesizing virtual sensors is an effective tool for the digital transformation of the technical operation system of self-propelled agricultural machinery. The virtual sensor is a software and algorithmic module that solves the problem of state identification in conditions of high uncertainty and an aggressive external environment. The proposed ten-step synthesis algorithm ensures a systematic transition from raw CAN bus signals to high-level diagnostic descriptors with proven accuracy ($R^2 \geq 0{,}9$). Identification of four feature formation mechanisms allows monitoring to cover most self-propelled agricultural machinery systems – from the engine and transmission to the working elements. Practical verification using the example of a power steering belt demonstrated the possibility of detecting component degradation 1-3 hours before failure, which allows repair work to be postponed until technological shutdowns occur. The use of virtual sensors ensures an increase in the technical availability factor (TAF) by 0.03 without installing additional hardware, confirming the high economic and technical significance of the methodology.

Библиографический список

1. Система управления современным производством на основе концепции «Индустрия 4.0»: основные положения. https://com/ru/cases/reverse-engineering-farm-equipment
2. Голубев И. Г. и др. Цифровизация в сфере технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники: аналитический обзор. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2023. 80 с.
3. 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.
4. Каюмов Б. А. Разработка методик испытаний электромеханических датчиков автомобилей, используемых для эксплуатации в регионах с жарким климатом. Вестник МГТУ. 2022. Т. 25. № 4. С. 345-353.
5. Субочев С. В., Немцев А. Е., Коптева (Анохина) И. В. Влияние основных показателей надежности на эффективность зерноуборочных комбайнов. Вестник Новосибирского государственный аграрный университет. 2014. № 2 (31). С. 157-164.
6. Лившиц В. М. Обоснование режимов эксплуатационного контроля и оптимизации их параметров в системе технического обслуживания сельскохозяйственной техники: метод. рекомендации. Новосибирск: ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние, СибИМЭ, 1985.
7. Альт В. В., Ольшевский С. Н. Информационные модели сельскохозяйственных объектов. Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2017. С. 267-276.
8. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Шогенов Ю. Х. Результаты научных исследований агроинженерных научных организаций по развитию цифровых систем в сельском хозяйстве. Техника и оборудование для села. 2022. № 3 (297). С. 2-9.
9. Guidotti D., Pandolfo L., Pulina L. The Systematic Literature Review of Supervised Machine Learning Techniques for Predictive Maintenance in Industry 4.0. IEEE Access. 2025. V. 13. Pp. 102479-102504.
10. Kisten M., Ezugwu A., Olusanya M. O. Explainable Artificial Intelligence Model for Predictive Maintenance in Smart Agricultural Facilities. IEEE Access. 2024. V. 12. Pp. 24348-24367.
11. Patel M. A Blockchain-based Predictive Maintenance Scheme for Smart Agriculture. 2024 IEEE/ACM 17th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC). 2024. Pp. 405-410.
12. Помогаев В. М., Редреев Г. В. Оценка потенциала информативности бортовых систем контроля сельскохозяйственных машин. Вестник Омского Государственного Аграрного Университета. 2025. № 3 (59). С. 123-131.
13. Barabás I. The Approach to Modeling and Developing Virtual Sensors Used in the Simulation of Autonomous Vehicles. Sensors. 2025. V. 25. № 11. Pp. 475-488.
14. Sen S. Uncertainty-Aware Virtual Sensors for Cyber-Physical Systems. IEEE Software. 2024. V. 41. № 2. Pp. 77-87.

References

1. Modern Production Management System Based on the Industry 4.0 Concept: Basic Provisions. https://com/ru/cases/reverse-engineering-farm-equipment

2. Golubev I. G. et al. Digitalization in the Field of Technical Maintenance and Repair of Agricultural Machinery: Analytical Review. Moscow: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex, 2023. 80 p.
3. Pomogaev V. M. Conceptual Model of the Methodology of Predictive Maintenance of Agricultural Machinery. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 4 (72). Pp. 538-547.
4. Kayumov B. A. Development of Test Methods for Electromechanical Sensors of Cars Used in Hot Climate Regions. News of the MSTU. 2022. V. 25. No 4. Pp. 345-353.
5. Subochev S. V., Nemtsev A. E., Kopteva (Anokhina) I. V. Influence of the main reliability indicators on the efficiency of grain harvesters. Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University. 2014. No. 2 (31). Pp. 157-164.
6. Livshits V. M. Justification of operational control modes and optimization of their parameters in the system of technical maintenance of agricultural machinery: method. recommendations. Novosibirsk: SibIME, 1985.
7. Alt V. V., Olshevsky S. N. Information models of agricultural objects. Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, 2017. Pp. 267-276.
8. Lachuga Yu. F., Izmailov A. Yu., Lobachevsky Ya. P., Shogenov Yu. Kh. Results of scientific research by agroengineering scientific organizations on the development of digital systems in agriculture. Technique and Equipment for the Countryside. 2022. No 3 (297). Pp. 2-9.
9. Guidotti D., Pandolfo L., Pulina L. The Systematic Literature Review of Supervised Machine Learning Techniques for Predictive Maintenance in Industry 4.0. IEEE Access. 2025. V. 13. Pp. 102479-102504.
10. Kisten M., Ezugwu A., Olusanya M. O. Explainable Artificial Intelligence Model for Predictive Maintenance in Smart Agricultural Facilities. IEEE Access. 2024. V. 12. Pp. 24348-24367.
11. Patel M. A Blockchain-based Predictive Maintenance Scheme for Smart Agriculture. 2024 IEEE/ACM 17th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC). 2024. Pp. 405-410.
12. Pomogaev V. M., Redreev G. V. Evaluation of the Information Content Potential of Onboard Monitoring Systems of Agricultural Machinery. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2025. No. 3 (59). Pp. 123-131.
13. Barabás I. The Approach to Modeling and Developing Virtual Sensors Used in the Simulation of Autonomous Vehicles. Sensors. 2025. V. 25. No. 11. Pp. 475-488.
14. Sen S. Uncertainty-Aware Virtual Sensors for Cyber-Physical Systems. IEEE Software. 2024. V. 41. No. 2. Pp. 77-87.

Информация об авторах
Помогаев Виталий Михайлович, кандидат экономических наук, доцент, 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, Associate Professor of the Department, Omsk State Agrarian University named after. P. A. Stolypin (Russian Federation, 644008, Omsk, Institutskaya Square, 1), e-mail: vm.pomogaev@omgau.org

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-66

THE EXPERIMENTAL STUDIES OF THE METHODS FOR THE INTRODUCING FERTILIZERS INTO THE IRRIGATION NETWORK USING THE ENERGY OF THE RECLAMATION PUMPING STATIONS PRESSURE AND SUCTION PIPELINES

Rudakov V. A., Maklakov D. V., Panov V. B., Tarasyants S. A.

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov Don State Agrarian University Novocherkassk, Russian Federation

Corresponding author e-mail: vladimirrudakov880@gmail.com, dmitriy_maklakov98@mail.ru, urzhumovay@mail.ru, starasyancz@mail.ru

Received 08.05.2026 Submitted 05.07.2026

Summary
The article provides a rationale for the hydraulic methods of fertilizer application using the energy of pressure and suction pipelines of single-wheel pump units with a maximum pressure of 120 m produced in the Russian Federation.

Abstract
Introduction. When applying fertilizers to irrigation networks, foreign expensive dosing pumps are usually used, the characteristics of which are difficult to match with those of existing pumping units in the Russian Federation, with no change in flow rate when connected to the network. In connection with the above, this paper proposes experimentally substantiated technologies for introducing fertilizers into pipelines using the energy of pressure and suction lines in the irrigation network without the use of additional foreign expensive pumping equipment. In order to substantiate the calculation of the proposed technology for hydraulic fertilizer introduction, field studies were conducted to determine the hydraulic characteristics of the proposed schemes and their feasibility in existing irrigated areas. **Object.** The object of research was the irrigation networks of ZAO «Niva» of the Veselovsky District and LLC «Rassvet» of the Kuibyshevsky District of the Rostov Region. **Materials and methods.** According to the manufactured installations, the main objectives of the field studies on the method of applying fertilizers using the energy of pressure pipelines were:

- determining the maximum vacuum value (suction capacity) at the point of fertilizer injection into the pressure pipeline according to the proposed technological scheme; - deriving an experimental mathematical dependence for calculating the flow rate of fertilizers for the pump equipment currently installed at ZAO «Niva» in the Rostov Region with a flow rate of 800 m^3/h and a pressure of 75 m; - derivation of an experimental mathematical dependence for determining the flow rate of fertilizers introduced into the suction pipeline of the pumping equipment of LLC «Rassvet» in the Rostov Region. **Results and conclusions.** To solve the set tasks, field studies were conducted using the theory of experimental design and the pumping equipment installed at the tested pumping stations. Equations were derived to determine the fertilizer flow rate with statistically significant coefficients, both when using the energy of pressure pipelines and when using suction pipelines. A theoretical justification was provided for the increase in the suction capacity of the fertilizer injection point when using the maximum head of single-wheel centrifugal pumps produced in the Russian Federation. Comparison of the experimental and calculated values using the equations obtained experimentally showed that the minimum difference for the technology of applying fertilizers using the energy of a pressure pipeline is 4 %, and for the technology of applying fertilizers using the energy of a suction pipeline, it is 8.4 %, which confirms the possibility of theoretical calculation of flow rates using the studied technological schemes. The analysis of the theoretical calculation of fertilizer intake and transportation by the energy of a pressure pipeline with the maximum possible head of single-wheel centrifugal pumps produced in the Russian Federation confirmed the possibility of reducing the diameter of the pipeline at the point of fertilizer injection to 63.8 m, with a corresponding increase in the vacuum (suction capacity) to -7.78 m, which is the limit of negative energy in existing pipelines. According to the studies on the introduction of fertilizers using the energy of the suction pipeline, it was found that there may be negative energy, which is determined by the cavitation reserve of the hydraulic equipment used in this case, -6 m, for a single-wheel pump D315-70 with a head of 75 m and a flow rate of 315 m^3/h.

Keywords: *irrigation networks, pumping stations, pressure pipelines, suction pipelines, and reclamation systems.*

Citation. Rudakov V. A., Maklakov D. V., Panov V. B., Tarasyants S. A. The experimental studies of the methods for the introducing fertilizers into the irrigation network using the energy of the reclamation pumping stations pressure and suction pipelines. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 593-603 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-66.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 631.8:631.67

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ВВОДА УДОБРЕНИЙ В ОРОСИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ ЭНЕРГИЕЙ НАПОРНЫХ И ВСАСЫВАЮЩИХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕЛИОРАТИВНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Рудаков В. А., *кандидат технических наук*
Маклаков Д. В., *аспирант*
Панов В. Б., *аспирант*
Тарасьянц С. А., *доктор технических наук, профессор*

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация

Актуальность. При внесении удобрений в оросительные сети используются, как правило, иностранные дорогостоящие насосы-дозаторы, характеристики которых сложно подбираются к характеристикам существующих насосных агрегатов РФ с отсутствием изменения величины расхода при вводе в сеть. В связи с вышеизложенным в настоящей работе предлагаются экспериментально обоснованные технологии ввода удобрений энергией напорных и всасывающих линий в трубопроводы оросительной сети без применения дополнительного иностранного дорогостоящего насосного оборудования. Для обоснования расчета предлагаемой технологии гидравлического ввода удобрений проведены натурные исследования с целью определения гидравлических характеристик предлагаемых схем и возможности их использования на существующих орошаемых участках. **Объект**. Объектом исследований являлись оросительные сети ЗАО «Нива» Веселовского района и ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области. **Материалы и методы.** По изготовленным установкам основными задачами натурных исследований по способу внесения удобрений энергией напорных трубопроводов являлись:

- определение максимальной величины вакуума (всасывающей способности) в точке ввода удобрений в напорный трубопровод по предлагаемой технологической схеме;

- вывод экспериментальной математической зависимости для вычисления расхода удобрений для насосного оборудования, установленного в настоящее время в ЗАО «Нива» Ростовской области с подачей 800 м^3/ч и напором 75 м;

- вывод экспериментальной математической зависимости для определения расхода удобрений, вводимых во всасывающий трубопровод насосного оборудования ООО «Рассвет» Ростовской области.

Результаты и выводы. Для решения поставленных задач проведены натурные исследования с использованием теории планирования эксперимента и насосного оборудования, установленного на испытываемых насосных станциях. Выведены уравнения для определения расхода удобрений при статистически значимых коэффициентах как при использовании энергии напорных трубопроводов, так и всасывающих. Проведено теоретическое обоснование степени увеличения всасывающей способности точки ввода удобрений при использовании максимального напора одноколёсных центробежных насосов, выпускаемых в РФ.

Сопоставление величин опытных и расчётных по уравнениям, полученным экспериментальным путём, показало минимальное значение расхождения для технологии подачи удобрений энергией напорного трубопровода составляет 4 %, для подачи энергией всасывающего трубопровода – 8,4 %, что подтверждает возможность теоретического расчёта величин расхода по исследованным технологическим схемам. Анализом теоретического расчёта забора и транспортировки удобрений энергией напорного трубопровода с максимально возможным напором одноколёсных центробежных насосов, выпускаемых в РФ, подтверждена возможность уменьшения диаметра трубопровода в месте ввода удобрений до 63,8 мм при соответствующем увеличении вакуума (всасывающей способности) до -7,78 м, что является пределом наличия отрицательной энергии в существующих трубопроводах. По приведённым исследованиям по вводу удобрений энергией всасывающего трубопровода установлен факт возможного наличия отрицательной энергии, определяемой в зависимости от кавитационного запаса используемого гидромеханического оборудования; в данном случае – -6 м, для одноколёсного насоса D 315-70 с напором 75 м и подачей 315 м^3/ч.

Ключевые слова: *оросительные сети, насосные станции, напорные трубопроводы, всасывающие трубопроводы, системы мелиорации.*

Цитирование. Рудаков В. А., Маклаков Д. В., Панов В. Б., Тарасьянц С. А. Экспериментальные исследования способов ввода удобрений в оросительную сеть энергией напорных и всасывающих трубопроводов мелиоративных насосных станций. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 593-603. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-66.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. При внесении удобрений в оросительные сети используются, как правило, иностранные дорогостоящие насосы-дозаторы, характеристики которых сложно подбираются к характеристикам существующих насосных агрегатов РФ с отсутствием изменения величины расхода при вводе в сеть [1, 2, 3].

В связи с вышеизложенным в настоящей работе предлагаются экспериментально обоснованные технологии ввода удобрений за счет энергии напорных и всасывающих линий в трубопроводы оросительной сети без применения дополнительного дорогостоящего иностранного насосного оборудования. Для обоснования расчета предлагаемой технологии гидравлического ввода удобрений проведены натурные исследования с целью определения гидравлических характеристик предлагаемых схем и возможности их использования на существующих орошаемых участках.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись оросительные сети ЗАО «Нива» Веселовского района и ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области. Исследования проведены в два этапа:

- для внесения удобрений с использованием энергии напорного трубопровода использовалась насосная станция ЗАО «Нива» Веселовского района Ростовской области. Площадь орошаемого севооборота – 271,2 га при планируемой урожайности культур кукурузы на зерно 100 ц/га и озимой пшеницы 65 ц/га;

- для исследований способа внесения удобрений с использованием энергии всасывающего трубопровода использовалась насосная станция ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области. Площадь орошаемого севооборота – 1020 га при планируемой урожайности кукурузы на зерно 130 ц/га, и зимних яблок Ренет П. Ф. Симиренко 3800 ц/га, способ орошения – капельный.

Целью проведения экспериментальных исследований является определение возможности подачи жидких удобрений в оросительную сеть энергией напорных трубопроводов насосной станции ЗАО «Нива» (площадь орошаемого участка 271,2 га) при планируемой урожайности кукурузы на зерно 100 ц/га и озимой пшеницы 65 ц/га, а также энергией всасывающих трубопроводов насосной станции ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области (площадь орошаемого участка 1020 га) при планируемой урожайности кукурузы на зерно 130 ц/га и яблок Ренет П. Ф. Симиренко, 3400 ц/га [3, 4].

В задачи исследований при использовании энергии напорного трубопровода входило:

- определение максимальной величины вакуума (всасывающей способности) в точке ввода удобрений в напорный трубопровод;
- вывод экспериментальной математической зависимости для вычисления расхода удобрений для насосного оборудования, установленного в ЗАО «Нива» Ростовской области (подача 800 м^3/ч, напор 75 м);
- определение максимальной величины вакуума (всасывающей способности напорного трубопровода) в точке ввода удобрений для максимального напора 120 м, выпускаемых в РФ одноколёсных центробежных насосов.

Для внесения удобрений энергией напорного трубопровода схема опытной установки и производственный участок показаны на рисунках 1, 2.

Схема внесения удобрений в напорный трубопровод орошаемой сети ЗАО «Нива» Веселовского района Ростовской области (рисунок 1, 2) состоит из обводного трубопровода с изменяемым диаметром трубопровода подачи, вакуумметра, манометра, расходомера и задвижек 1, 2. Работает установка по принципу создания вакуума в обводном трубопроводе для создания отрицательной энергии (всасывающей способности) в трубопроводе подачи удобрений в напорный распределительный трубопровод и дальнейшей транспортировки в сеть орошения при закрытой задвижке 2 и открытой задвижке 3.



Рисунок 1 – Схема ввода удобрений в напорный трубопровод насосной станции в ЗАО «Нива» Веселовского района Ростовской области
Figure 1 – Scheme of fertilizer injection into the pressure pipeline of the pumping station in ZAO «Niva», Veselovsky District, Rostov Region



Рисунок 2 – Опытно-производственный участок для внесения удобрений
Figure 2 – Experimental production site for fertilizer application

При выдаче нормы удобрений [5, 6, 7, 8] (ёмкостей может быть несколько, в том числе и с микроэлементами) задвижка 3 закрывается с одновременным открытием задвижки 2 при подаче воды без удобрений. Опыты проведены с использованием теории планирования эксперимента. В качестве критерия принимается расход удобрений в точке ввода $Q_{\text{у}}$ определяемый расходомерами при факторах –– диаметр обводного трубопровода Do, напор H_H определяемый манометром, расход Q_0 в обводном трубопроводе, контролируемый расходомером, величина вакуума $H_{\text{в}}$ определяемая вакуумметром. Для исследований принят 4-факторный план; кодирование и варьирование переменными показаны в таблице 1, матрица – в таблице 2.

Обработка полученных данных методом (Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.) позволяет получить величины коэффициентов: $в_0 = 12{,}3$; $в_1 = 33{,}8$; $в_2 = -18{,}0$; $в_3 = +3{,}4$; $в_4 = +2{,}6$; $в_{1,1} = 13{,}4$; $в_{2,2} = 8{,}3$; $в_{3,3} = 15{,}41$; $в_{4,4} = -26{,}6$; $в_{1,2} = = 3{,}0$; $в_{1,3} = -2{,}0$; $в_{1,4} = +16{,}0$; $в_{2,3} = -14{,}0$; $в_{2,4} = -3{,}0$; $в_{3,4} = -0{,}15$.

Таблица 1 – Кодирование переменных
Table 1 – Encoding variables

Факторы / Factors	Код / Code	Уровень «0» / Level "0"	Интервал / Interval	Уровень «-» / Level "-"	Уровень «+» / Level "+"
Диаметры обводного трубопровода D_0, м / Bypass pipeline diameters D_0, m	x_1	0,15	0,05	0,1	0,25
Напор в обводном трубопроводе H_H, м / Head in the bypass pipeline $H_н$, m	x_2	60	15	45	75
Расход в обводном трубопроводе Q_0, м^3/ч / Flow rate in the bypass pipeline Q_0, m^3/h	x_3	3,0	1,8	1,2	4,8
Вакуум в трубопроводе подачи $H_в$, м / Vacuum in the supply pipeline H_v, m	x_4	-4	-2	-2	-6

Для расчёта статистически значимых коэффициентов и среднеквадратического отклонения использовалась зависимость

$$S_э^2 = \frac{\Sigma_{i=1}^{4}\left(Q_{yi} - Q_y\right)^2}{4-1} \quad (1)$$

по нулевым опытам (опыты 12, 13, 14, 15) Q_{yi} – среднее значение расхода удобрений Q_y.

Коэффициент $в_1$, $в_2$, $в_3$,$в_4$ статистически значимы в случае выполнения условий $в_i \geq в_{кр} = t_а \cdot S(в_i)$ где $в_i$ – коэффициент фактора, $в_{кр}$ – критический коэффициент, $t_а$ – 3,1 – критерий Стьюдента при значимости 5 %.

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты опытов
Table 2 – Planning matrix and experimental results

Опыт / Experiment	D_0,м (x_1)	H_H,м(x_2)	Q_0,м^3/ч(x_3) / Q_0, m^3/h(x_3)	$H_в$,м (x_4)	Критерий $Q_у$(м^3/ч) / Criterion Q_y(m^3/h)
1	2	3	4	5	6
1	-	-	-	-	5,2
2	+	-	-	-	1,4
3	-	+	-	-	4,15
4	+	+	-	-	5,0
5	-	-	+	-	3,8
6	+	-	+	-	3,0
7	-	+	+	+	4,9
8	-	-	-	+	1,15
9	+	+	+	-	4,9
10	-	-	-	-	2,01
11	-	+	-	+	5,0
12	0	0	0	0	2,4
13	0	0	0	0	2,8
14	0	0	0	0	2,64
15	0	0	0	0	2,53
Обработка результатов / Processing of results					
$\Sigma(+)$(м^3/ч) $= +16{,}7$		$\Sigma(+)$(м^3/ч) $= +29{,}9$	$\Sigma(+)$(м^3/ч) $= +34{,}8$	$\Sigma(+)$(м^3/ч) $= +33{,}85$	$\Sigma Q_у$(м^3/ч) $= +51{,}2$
$\Sigma(-) = -26{,}2$		$\Sigma(-) = -26{,}4$	$\Sigma(-) = -21{,}55$	$\Sigma(-) = -17{,}35$	
$D_0 = -9{,}5$		$H_H = +3{,}5$	$Q_0 = +13{,}25$	$H_в = +16{,}5$	
$11D_0 = 42{,}9$		$11H_H = 56{,}3$	$11Q_0 = 56{,}3$	$11H_в = 51{,}1$	

$S(в_i) = T_i \cdot S_э$ – ошибка коэффициента модели в рассматриваемом плане принималась $в_0, в_i, в_{ii}, в_{ij}$ соответственно 0,64; 0,20; 0,32; 0,25.

Для вычисления критерия Q_y (расход удобрений) используется уравнение в общем виде (2) и натуральных величинах (3)

$$Q_y = в_0 \pm в_1 x_1 \pm в_2 x_2 \pm в_3 x_3 \pm в_4 x_4 \pm в_{1.1} x_1^2 \pm в_{2.2} x_2^2 \pm в_{2.3} x_2 x_3 \pm в_{2.4} x_2 x_4 \pm в_{3.4} x_3 x_4 \quad (2)$$

$$Q_y = 12{,}3 + 33{,}8D_0 - 18{,}0H_н + 3{,}4Q_0 - 2{,}6H_н + 13{,}4D_0^2 + 8{,}3H_н^2 + 15{,}41Q_0^2 - 26{,}6H_в^2 + 2{,}8D_0H_н - 3{,}2D_0Q_0 + 16{,}0\ D_0H_в - 14{,}0H_нQ + 14{,}0H_нQ_0 \quad (3)$$

Результаты и обсуждение. Расчёт статистически значимых коэффициентов позволил получить зависимость для вычисления расхода удобрений Q_y в виде уравнения (4)

$$Q_y = 12{,}3 + 33{,}8D_0 - 18{,}0H_н + 13{,}4D_0^2 + 15{,}41Q_0^2 - 26{,}6H_в^2 + 16{,}0\ D_0H_в - 14{,}0H_нQ_0 \quad (4)$$

Сопоставление величин, полученных опытным путём по матрице (таблица 2) и расчётным по зависимости (4), показано в таблице 3.

Таблица 3 – Сопоставление опытных и расчётных величин
Table 3 – Comparison of experimental and calculated values

№ Опыта / Experimental number	Кодированные факторы / Coded factors						
	D_0(мм)	$H_н$ (м)	Q_0 (м^3/ч)	$H_в$ (м)	Критерий Q_y(м^3/ч) опыт / Criterion Q_y(m^3/h) experiment	Критерий Q_y(м^3/ч) расчёт / Criterion Q_y(m^3/h) calculation	Расхождение, % / Discrepancy, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	50,0	45	1,2	-2,0	5,20	5,60	4,0
2	200,0	45	1,2	-2,0	1,40	2,0	3,8
3	50,0	75	1,2	-2,0	4,15	4,3	3,6
4	200,0	75	1,2	-2,0	5,0	5,25	1,5
5	50,0	45	4,8	-2,0	3,80	4,20	1,8
6	200,0	45	4,8	-2,0	3,0	2,8	1,9
7	50,0	75	4,8	-6,0	4,90	4,6	1,9
8	50,0	45	1,2	-6,0	1,15	1,1	0,2
9	200,0	75	4,8	-2,0	4,90	4,6	1,0
10	50,0	45	1,2	-2,0	2,01	1,9	2,25
11	50,0	75	1,2	-6,0	5,0	4,9	1,5
12	200,0	75	1,2	-6,0	2,40	2,35	0,02
13	150,0	60	3,0	-4,0	3,52	3,6	1,0
14	150,0	60	3,0	-4,0	3,44	3,6	1,8
15	150,0	60	3,0	-4,0	3,59	3,9	1,6

Анализ таблицы 3 даёт возможность для использования центробежного гидромеханического оборудования при подаче удобрений энергией напорной линии с напором в пределах $H_н = 45 \div 75$м и расходом в обводном трубопроводе до 48 м^3/ч (расход фактически установленного насоса); при этом максимальная величина вакуума (всасывающая способность трубопровода подачи удобрений) достигает – 6 м, что значительно превышает допустимый кавитационный запас выпускаемых, в настоящее время центробежных насосов [9, 10]. В случае необходимости увеличения величины вакуума (всасывающей способности) в обводном трубопроводе D_0 (рисунок 1) величина напора и, соответственно, скорость потока могут быть увеличены до 100-120 м, что соответствует максимальному значению напора для одноколёсных центробежных насосов РФ.

Для обоснования степени увеличения всасывающей способности обводного трубопровода проведен теоретический расчёт значения вакуума в обводном трубопроводе при использовании максимально высоконапорного одноколёсного центробежного насоса D1250-125 с табличной напорно-расходной характеристикой, показанной в таблице 4.

Исходя из величин максимального напора $H_н$ = 120 м и подачи 0,16 м^3/с, проведен расчет скорости потока и значения вакуума в обводном трубопроводе при полной энергии насоса перед точкой ввода (рисунок 1):

$$Э_т = Э_к + Э_п \quad (5)$$

где $Э_к$ – кинетическая энергия $\left(\frac{V_m^2}{2g}\right)$; $Э_п$ – потенциальная энергия $\frac{P_m}{g\rho_0}$; $Э_т$ – полная энергия, принятая по табличной характеристике (таблица 4).

Расчётные величины энергии в обводном трубопроводе (рисунок 3) в зависимости от диаметра D_0, при напоре 120 м и расходе 0,16 м^3/с приведены в таблице 5. Согласно расчёту, из выбранных диаметров обводного трубопровода D_0 (таблица 6) возможны к использованию 64,0 и 63,8 мм с величиной потенциальной остаточной энергии (всасывающей способностью), соответственно, -6,2; -7,78 м.

Таблица 4 – Табличная характеристика насоса D1250-125
Table 4 – Table characteristics of the D1250-125 pump

Подача $Q_н$ м^3/с / Flow rate Q_h m^3/s	Напор $H_н$ м / Head H_h m	Мощность $N_н$ кВт / Power N_h kW	Допустимая высота всасывания (м) Н / Allowable suction height (m) H	КПД / Efficiency
0,48	70	545	1,8	0,64
0,45	80	520	2,5	0,70
0,40	92	492	3,5	0,73
0,36	100	490	4,5	0,80
0,24	115	430	3,4	0,75
0,16	120	320	5,7	0,60

Таблица 5 – Расчётные величины энергии в обводном трубопроводе
Table 5 – Estimated energy values in the bypass pipeline

Диаметр обводного трубопровода D_0, мм / Bypass pipeline diameter D_0, mm	Напор насоса 120 м, подача 0,16 м^3/с / Pump pressure is 120 m, flow rate is 0.16 m^3/s		
	Скорость потока $V_{обв}$, м/с (при подаче 0,16 м^3/с) / Flow rate V, m/s (at a flow rate of 0.16 m^3/s)	Скоростной напор $V_{обв}^2/2g$, м / Velocity head $V^2/2g$, m	Остаточная потенциальная энергия в обводном трубопроводе $Э_п=Э_т - V_{обв}^2/2g$, м (по принятой полной энергии 120 м) / Residual potential energy in the bypass pipeline $Ep=Et - V^2/2g$, m (based on the total energy of 120 m)
100	20,38	21,17	98,8
150	9,05	4,12	115,8
200	5,04	1,32	118,7
50	81,5	330,5	210,5 (диаметр D_0 50 мм невозможен) / 210,5 (D_0 diameter 50 mm impossible)
70	41,5	87,98	32,02
60	56,6	163,3	43,3 (D_0 невозможен) / 43,3 (D_0 impossible)
65	48,2	118,5	- 1,5
64	49,76	126,2	- 6,2
63	51,35	134,4	14,4 (D_0 невозможен для подачи по $D_у$) / 14,4 (D_0 impossible for D_y feed)
63,5	50,54	130,21	10,2 (D_0 невозможен для подачи по $D_у$) / 10,2 (D_0 impossible for D_y feed)
63,8	50,07	127,78	- 7,788

Анализ таблицы 5 показывает возможность увеличения потенциальной энергии при использовании высоконапорных насосов с напором до 120 м с одновременным повышением подачи до 0,16 м^3/с при уменьшении диаметра обводного трубопровода D_0 до 63,8 мм, при котором величина вакуума и, соответственно, всасывающая способность обводного трубопровода увеличиваются до -7,78 м. Таким образом, проведённые натурные исследования, дополнительно подтверждённые теоретическим расчётом с высоконапорным центробежным насосом D1250-125, доказывают вариант применения энергии напорной линии для ввода удобрений в сеть орошаемого участка. При экспериментальных исследованиях способа внесения удобрений в оросительную сеть энергией всасывающего трубопровода использовалась насосная станция ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области (рисунок 3, 4) оборудованная тремя насосными агрегатами D 315-70 с напором

70 метров и подачей 315 м^3/ч. Опыты проведены также с использованием теории планирования эксперимента [11, 12, 13]. В качестве критерия принимался расход удобрений $Э'_у$ подаваемый из установленных ёмкостей (рисунок 4).

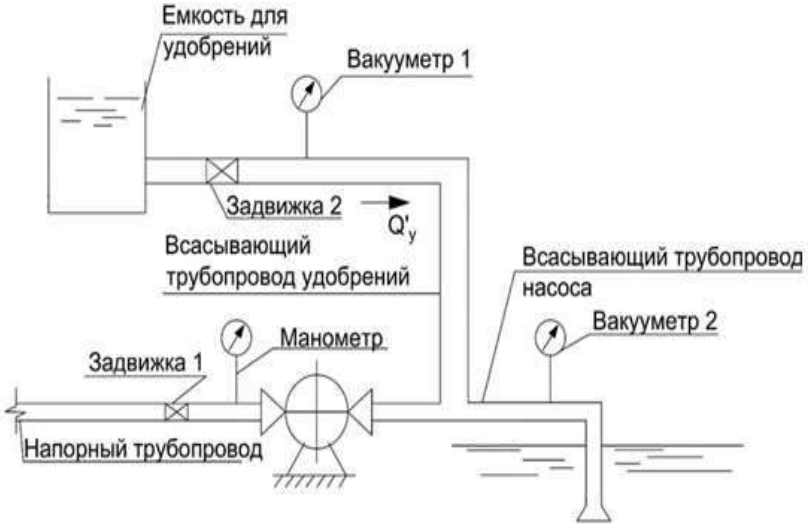


Рисунок 3 – Схема ввода удобрений энергией всасывающего трубопровода насосной станции ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области
Figure 3 – Scheme of fertilizer input using the suction pipeline of the pumping station of LLC «Rassvet» in the Kuibyshevsky District of the Rostov Region



1 – емкости для удобрений; 2 – всасывающий трубопровод
1 – fertilizer containers; 2 – suction pipeline
Рисунок 4 – Насосная станция ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области
Figure 4 – Pumping Station of LLC «Rassvet» in the Kuibyshevsky District of the Rostov Region

В качестве факторов принимались показания вакуумметра 1 – $в_1(x_1)$, вакуумметра 2 – $в_2(x_2)$, показания манометра на напорном трубопроводе – $М(x_3)$, диаметр трубопровода подачи удобрений – $D'_у(x_4)$, кодирование переменных x_1, x_2,x_3, x_4 показано в таблице 6.

Таблица 6 – Кодирование переменных по плану B_4 при экспериментальных исследованиях ввода удобрений во всасывающий трубопровод
Table 6 – Encoding of variables according to plan B_4 in experimental studies of fertilizer injection into the suction pipeline

Факторы / Factors	Код / Code	Уровень «0» / Level "0"	Интервал / Interval	Уровни / Levels	
				«-»	«+»
Вакуумметр 1-$в_1$ (м) / Vacuum gauge	x_1	-3,0	-2,0	-1,0	-5,0
Вакуумметр 2-$в_2$ (м) / Vacuum gauge	x_2	-5,0	-1,0	-4,0	-6,0
Манометр в напорном трубопроводе М, (м) / Pressure gauge in the pressure pipeline M, (m)	x_3	50,0	20,0	30,0	70,0
Диаметр трубопровода подачи удобрений $D'_у$ (мм) / Diameter of the fertilizer supply pipeline	x_4	80,0	20,0	60,0	100,0

Матрица планирования и результаты опытов приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица планирования и результаты опытов
Table 7 – Planning matrix and experimental results

Опыт / Experiment	$B_1(x_1)$ м	$B_2(x_2)$ м	$M(x_3)$ м	$D'_у(x_4)$ мм	Критерий $Q'_у$ (м^3/ч) / Criteria
1	-(-1,0)	-4,0	- 30,0	-(60,0)	5,40
2	+(-5,0)	-(-4,0)	- 30,0	-(60,0)	6,20
3	-(-1,0)	+(-6,0)	- 30,0	-(60,0)	4,90
4	+(-5,0)	+(-6,0)	- 30,0	-(60,0)	5,40
5	-(-1,0)	-(-4,0)	- 30,0	+(100,0)	3,25
6	+(-5,0)	-(-4,0)	+70,0	-(60,0)	4,01
7	-(-1,0)	+(-6,0)	+70,0	+(100,0)	9,30
8	-(-1,0)	-(-4,0)	- 30,0	+(100,0)	10,0
9	+(-5,0)	+(-6,0)	+70,0	-(60,0)	5,80
10	-(-1,0)	-(-4,0)	- 30,0	-(60,0)	4,60
11	-(-1,0)	+(-6,0)	- 30,0	-(60,0)	4,90
12	0(-3,0)	0(-5,0)	0(50,0)	-(-30,0)	5,20
13	0(-3,0)	0(-5,0)	0(50,0)	0(30,0)	4,80
14	0(-3,0)	0(-5,0)	0(50,0)	0(30,0)	3,90
15	0(-3,0)	0(-5,0)	0(50,0)	0(30,0)	4,80

Обработка данных таблицы 7 методом (Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.) позволила получить зависимость 6 без использования коэффициентов со значимостью < 5 % для расчёта величины подачи удобрений $Q'_у$

$$Q'_у = 33{,}2 - 23{,}1B_1 - 20{,}8B_2 - 19{,}6D'_у + 16{,}8B_1^2 + 20{,}3B_2^2 - 18{,}1M^2 - 22{,}8D_у^2 - 16{,}0B_1M + 22{,}4B_2D'_у + 12{,}3MD'_у \quad (6)$$

Сравнение расчётных по уравнению 6 и опытных по таблице 7 данных приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Значения опытных и расчётных данных
Table 8 – Values of experimental and calculated data

№ опыта / Experimental number	B_1, м	B_2, м	M, м	$D'_у$, мм	Критерий $Q'_у$ (м^3/ч) / Criteria	Критерий $Q'_у$ (м^3/ч) расчётный / Criterion (m^3/h) calculated	Расхождение, % / Discrepancy, %
1	4,0	4,0	30,0	60,0	5,40	6,20	3,0
2	5,0	1,0	30,0	60,0	6,20	7,08	4,0
3	1,0	6,0	30,0	60,0	4,90	5,3	2,1
4	5,0	6,0	30,0	60,0	5,40	6,0	2,0
5	1,0	4,0	30,0	100,0	3,25	4,0	2,2
6	5,0	4,0	70,0	60,0	4,01	5,3	8,4
7	1,0	6,0	70,0	100,0	9,30	10,20	6,3
8	1,0	4,0	30,0	100,0	10,0	13,1	5,0
9	5,0	6,0	70,0	60,0	5,80	7,3	8,3
10	4,0	4,0	30,0	60,0	4,60	6,4	8,4
11	1,0	6,0	30,0	60,0	4,90	6,0	3,8
12	3,0	5,0	30,0	80,0	5,20	4,9	2,0

Анализ таблицы 8 показывает, что величина максимального расхождения опытных и расчётных данных по зависимости 6 критерия Q'_y составляет не более 8,3 %, что позволяет утверждать о возможности использования вышеприведённого уравнения 6 при внесении удобрений с использованием энергии всасывающего трубопровода.

В данном случае теоретическое подтверждение использования энергии всасывающего трубопровода для насосного оборудования с максимальными напорами не требуется, так как величина кавитационного запаса (вакуума) для используемого насосного оборудования определяется по кавитационному запасу.

Заключение. 1. Сопоставление величин опытных и расчётных по уравнениям, полученным экспериментальным путём, показало минимальное значение расхождения для технологии подачи удобрений энергией напорного трубопровода 4 %, для подачи энергией всасывающего трубопровода – 8,4 %, что подтверждает возможность теоретического расчёта величин расхода по исследованным технологическим схемам.

2. Анализом теоретического расчёта забора и транспортировки удобрений энергией напорного трубопровода с максимально возможным напором одноколёсных центробежных насосов, выпускаемых в РФ, подтверждена возможность уменьшения диаметра трубопровода в месте ввода удобрений до 63,8 мм при соответствующем увеличении вакуума (всасывающей способности) до -7,78 м, что является пределом наличия отрицательной энергии в существующих трубопроводах.

3. По приведённым исследованиям по вводу удобрений энергией всасывающего трубопровода установлен факт возможного наличия отрицательной энергии, определяемой в зависимости от кавитационного запаса используемого гидромеханического оборудования; в данном случае – -6 м. Для одноколёсного насоса D315-70 с напором 75 м и подачей 315 м^3/ч расход составляет 10 м^3/ч, что даёт основание к практическому применению на производстве исследованной схемы.

В случае необходимости увеличения величины вакуума в трубопроводе подачи удобрений диаметром D_0, величины напора и, соответственно, скорости, фактический расход может быть увеличен до 100-120 м^3/ч, что соответствует максимальному значению одноколесных центробежных насосных агрегатов.

Conclusion. 1. Comparison of the values of the experimental and calculated by the equations obtained by the experimental minimum value of the divergence for the technology of fertilizers supply by the energy of the pressure pipeline 4 %, for the supply by the energy of the suction pipeline 8,4 %, which confirms the possibility of theoretical calculation of the flow rates of the studied technological schemes.

2. The analysis of the theoretical calculation of fertilizer intake and transportation by the energy of a pressure pipeline with the maximum possible head of single-wheel centrifugal pumps produced in the Russian Federation confirmed the possibility of reducing the diameter of the pipeline at the point of fertilizer injection to 63,8 mm, with a corresponding increase in vacuum (suction capacity) to -7,78 m, which is the limit of negative energy in existing pipelines.

3. According to the studies on the introduction of fertilizers using the energy of the suction pipeline, it was found that there may be negative energy, which is determined by the cavitation reserve of the hydromechanical equipment used. In this case, the cavitation reserve for the single-wheel pump D315-70 with a head of 75 m and a flow rate of 315 m^3/h is -6 m, which corresponds to a flow rate of 10 m^3/h. This provides a basis for the practical application of the studied scheme in production.

If necessary, the vacuum value in the fertilizer supply pipeline with a diameter of D_0, the pressure value, and, accordingly, the speed, can actually be increased to 100-120 m^3/h, which corresponds to the maximum value of single-wheel centrifugal pump units.

Библиографический список

1. Данилова А. А. Оптимальные дозы фосфорных удобрений (к почвенно-биохимическим аспектам проблемы). Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 3. С. 5-15.

2. Воеводин О. В., Кириленко А. А. Методика оценки уровня мобильности мелиоративных насосных станций. Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 2. С. 68-83.

3. Рудаков В. А. и др. Устройство и технологический процесс смешивания и внесения удобрений с поливной водой для подкормки сельскохозяйственных культур. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 1. С. 118-131.

4. Tarasyants S. A. et al. The calculation basis for a four-component jet mixer for fertilizer and water. E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. V. 262. Art. 01035.

5. Воронин А. Н., Котяк П. А. Влияние дозы азотных удобрений и ширины междурядий на продуктивность амаранта. Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 3 (28). С. 11-16.

6. Хакимов Ш. З. Влияние динамики NPK на дозы внесения минеральных удобрений под озимую пшеницу. Плодородие. 2021. № 5 (122). С. 56-61.

7. Лихоманова М. А., Соловьева О. А. Влияние способов полива на эффективность возделывания овощных культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1 (61). С. 161-173.

8. Tarasyants S. A. et al. Local experimental studies of the fertilizer uptake process into suction pipelines of pumping stations with a jet apparatus. E3S Web of Conferences IV International Scientific Conference. 2021. Vol. 281. Art. 09022.

9. Мазанов Р. Р. и др. Экономическое обоснование использования смесителей животноводческих стоков, минеральных удобрений и воды в системах орошения сельскохозяйственных культур. Проблемы развития АПК региона: науч.-практ. журнал Дагестанского ГАУ. 2019. Вып. № 2 (38). С. 145-151.

10. Нафиков И. Р., Ситдиков Ф. Ф. Струйные аппараты для создания вакуума. Научная жизнь. 2019. № 1. С. 40-45.

11. Бегляров Д. С. и др. Особенности работы насосных станций на закрытых оросительных системах. Научная жизнь. 2021. Т. 16. № 5 (117). С. 538-553.

12. Shivani Chitale, Pranjal Jadhav, Snehal Dhoble, Deshmukh Dr. Parameters Affecting Efficiency of Centrifugal Pump – the Review. International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 2021. Pp. 49-58.

13. Kan E., Ikramov N., Mukhammadiev M. The change in the efficiency factor of the pumping unit with a frequency converter. E3S Web of Conferences. 2019. V. 97. Art. 05010.

References

1. Danilova A. A. Optimal Doses of Phosphorus Fertilizers (to the Soil-Biochemical Aspects of the Problem). Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2019. Vol. 49. No 3. Pp. 5-15.

2. Voevodin O. V., Kirilenko A. A. Methodology for Assessing the Mobility Level of Land Reclamation Pumping Stations. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2022. Vol. 12. No 2. Pp. 68-83.

3. Rudakov V. A. et al. Device and technological process for mixing and applying fertilizers with irrigation water for fertilizing crops. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13. No 1. Pp. 118-131.

4. Tarasyants S. A. et al. The calculation basis for a four-component jet mixer for fertilizer and water. E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. Vol. 262. Art. 01035.

5. Voronin A. N., Kotyak P. A. Influence of nitrogen fertilizer dose and row spacing on amaranth productivity. Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region. 2019. No. 3 (28). Pp. 11-16.

6. Khakimov Sh. Z. Influence of NPK dynamics on the doses of mineral fertilizers applied to winter wheat. Fertility. 2021. No. 5 (122). Pp. 56-61.

7. Likhomanova M. A., Solovyova O. A. Influence of irrigation methods on the efficiency of vegetable crops cultivation. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2021. No 1 (61). Pp. 161-173.

8. Tarasyants S. A. et al. Local experimental studies of the fertilizer uptake process into suction pipelines of pumping stations with a jet apparatus. E3S Web of Conferences IV International Scientific Conference. 2021. Vol. 281. Art. 09022.

9. Mazanov R. R. et al. Economic justification of the use of mixers of livestock effluents, mineral fertilizers and water in irrigation systems for agricultural crops. Problems of development of the agro-industrial complex of the region: scientific and practical. Journal of the Dagestan State Agrarian University. 2019. Vol. № 2 (38). Pp. 145-151.

10. Nafikov I. R., Sitdikov F. F. Jet Devices for Creating a Vacuum. Scientific Life. 2019. No 1. Pp. 40-45.

11. Beglyarov D. S. et al. Features of the operation of pumping stations on closed irrigation systems. Scientific Life. 2021. Vol. 16. No 5 (117). Pp. 538-553.

12. Shivani Chitale, Pranjal Jadhav, Snehal Dhoble, Deshmukh Dr. Parameters Affecting Efficiency of Centrifugal Pump – the Review. International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 2021. Pp. 49-58.

13. Kan E., Ikramov N., Mukhammadiev M. The change in the efficiency factor of the pumping unit with a frequency converter. E3S Web of Conferences. 2019. V. 97. Art. 05010.

Информация об авторах

Рудаков Владимир Александрович, кандидат технических наук, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), ORCID: 0009-0005-6989-7906, e-mail: vladimirrudakov880@gmail.com

Маклаков Дмитрий Валерьевич, аспирант, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), ORCID: 0000-0001-9168-3799, e-mail: dmitriy_maklakov98@mail.ru

Панов Владислав Борисович, аспирант, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), ORCID: 0009-0007-4448-8705, e-mail: urzhumovay@mail.ru

Тарасьянц Сергей Андреевич, доктор технических наук, профессор, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), ORCID: 0000-0003-0076-6850, e-mail: starasyancz@mail.ru

Authors' Information

Rudakov Vladimir Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya Str. 111), ORCID: 0009-0005-6989-7906, e-mail: vladimirrudakov880@gmail.com

Maklakov Dmitriy Valerievich, Graduate student, Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named afte r A. K. Kortunov, Don State Agrarian Un e-mail: iversity (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya Str. 111), ORCID: 0000-0001-9168-3799, dmitriy_maklakov98@mail.ru

Panov Vladislav Borisovich, Graduate student, Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya Str. 111), ORCID: 0009-0007-4448-8705, e-mail: urzhumovay@mail.ru

Tarasyants Sergey Andreevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A. K. Kortunov, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346428, Rostov region, Novocherkassk, Pushkinskaya Str. 111), ORCID: 0000-0003-0076-6850, e-mail: starasyancz@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-67

THE CLASSIFICATION OF THE EQUIPMENT USED IN THE STRIP TILLAGE TECHNOLOGY

Sevostyanov A. L.

Orel State Agrarian University
Orel, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sewostya@list.ru

Received 12.01.2026 Submitted 15.07.2026

The research was conducted as part of a state assignment on the topic: FEEF-2026-0003. Development of strip tillage technology to improve the efficiency of precision farming agrosystems.

Abstract

Introduction. The implementation of strip tillage requires efficient machines, but the diversity of cultivator designs complicates their systematization, comparison, and selection. The purpose of the study is to develop a multilevel classification of cultivators for strip tillage with passive working bodies. **Materials and methods.** The study used systems analysis, comparative analysis, and synthesis based on a purposive analytical sample of more than 30 cultivator models, technical documentation, and patent databases. Each unit was decomposed into functional modules, after which classification features were identified and grouped. **Discussion and conclusion.** The multilevel classification was developed with the working section as the basic complete technological module. The scheme incorporates established upper-level categories: design (linear or sectional), process phasing (single- or two-phase), and soil-impact intensity (light, medium, or heavy), and supplements them with modular features (A, B, C, D, F) describing purpose, design, and kinematics. The sample is intended for qualitative typological generalization rather than statistical estimation of the entire market; the classification remains open to extension as new designs appear. Practical significance is confirmed by the creation and state registration of databases on strip-till implements and tractors. The results can be used in research, education, engineering practice, and decision-support tools for selecting equipment.

Keywords: *strip tillage, strip-till, cultivators, passive cultivator working bodies, fertilizer application systems, deep soil loosening.*

Citation. Sevostyanov A. L. The classification of the equipment used in the strip tillage technology. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 604-616 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-67.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contribution. The author conducted a formal analysis, defined the concept and methodology of the study, and conducted a study. The author reviewed and approved the received version of the article.
Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 631.51+631.316.4

КЛАССИФИКАЦИЯ МАШИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛОСОВОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Севостьянов А. Л., *кандидат технических наук, заведующий кафедрой*

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ
г. Орел, Орловская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках государственного задания по теме: FEEF-2026-0003 Разработка технологии полосовой обработки почвы для повышения эффективности агросистем точного земледелия.

Актуальность. Внедрение полосовой обработки почвы требует эффективных машин, однако разнообразие конструкций культиваторов затрудняет их систематизацию, сравнение и выбор. **Цель исследования** – разработка многоуровневой классификации культиваторов для полосовой обработки почвы с пассивными рабочими органами. **Материалы и методы.** Исследование проведено методами системного и сравнительного анализа и синтеза на основе целевой аналитической выборки свыше 30 моделей культиваторов, технической документации и патентных баз. Каждый агрегат декомпозирован на функциональные модули для выделения и группировки классификационных признаков. **Обсуждение и выводы.** Разработана многоуровневая классификация, в которой базовым законченным технологическим модулем является «рабочая секция». В систему включены принятые признаки верхнего уровня: конструктивное исполнение (линейное или секционное), технологическая фазность (однофазное или двухфазное исполнение) и степень воздействия на почву (легкая, средняя или тяжелая), а также модульные признаки (А, Б, С, D, F), характеризующие назначение, конструкцию и кинематику. Выборка предназначена для качественного типологического обобщения, а не для статистической оценки всего рынка; классификация открыта для дополнения при появлении

новых конструкций. Практическая значимость подтверждается созданием и государственной регистрацией баз данных по агрегатам и тракторам для strip-till. Результаты применимы в научных исследованиях, образовании и инженерной практике сельхозпредприятий.

Ключевые слова: *полосовая обработка почвы, strip-till, культиваторы, пассивные рабочие органы культиваторов, системы внесения удобрений, глубокое рыхление почвы.*

Цитирование. Севостьянов А. Л. Классификация машин, используемых в технологии полосовой обработки почвы. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 603-616. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-67.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Автор провёл формальный анализ, определил концепцию и методологию исследования, провел исследование. Автор ознакомился и одобрил полученный вариант статьи.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Современное ресурсо- и энергосберегающее земледелие все активнее использует технологии, позволяющие минимизировать воздействие на почву, сохраняя при этом высокие агрономические показатели. Одной из таких технологий является полосовая обработка почвы, которая совмещает преимущества традиционной вспашки (интенсивное рыхление зоны заделки семян и удобрений) и no-till (сохранение почвенной структуры и влаги в междурядьях) [1, 2]. Эффективная реализация технологии полосовой обработки почвы напрямую зависит от применяемого машинно-тракторного агрегата, в состав которого входит strip-till культиватор [3, 4].

В настоящее время на рынке представлено значительное количество моделей таких культиваторов от десятков производителей, которые отличаются широким разнообразием конструктивных решений, компоновок, типов рабочих органов и дополнительных функций [5]. Это разнообразие, с одной стороны, предоставляет сельхозпроизводителям широкий выбор, а с другой – создает серьезную проблему систематизации и сравнительного анализа. Существующие подходы к классификации часто ограничиваются общими параметрами, не учитывая глубокое технологическое назначение рабочих органов и их кинематику. Отсутствие единой, научно обоснованной классификации затрудняет проведение объективных сравнительных испытаний, разработку методик оценки эффективности, формирование рекомендаций по выбору техники под конкретные почвенно-климатические условия и агротехнологии, а также процесс обучения инженеров.

В ГОСТ 16265-89 Земледелие. Термины и определения, определение полосовой обработки почвы не дано, и в настоящем документе она не рассмотрена. Исследование данной технологии позволило установить, что она сочетает в себе глубокую, обычную, мелкую и поверхностную обработки почвы на полосах при сохранении необрабатываемых междурядий. Пожнивные остатки при этом служат мульчей и средой для питания почвенной биоты.

Научной школой В. И. Беляева (ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ) проведены исследования по обоснованию рационального состава почвообрабатывающего агрегата для полосовой обработки почвы [6]. В работе [7] машины strip-till систематизированы по способности копировать рельеф: тип I – разрезающий и рыхлящий рабочие органы жестко закреплены на раме; тип II – рабочие органы установлены на секционном подрамнике с параллелограммным механизмом; тип III – функциональные органы имеют дифференцированное размещение и независимое копирование. Учеными Вавиловского университета (В. М. Бойков, С. В. Старцев, И. Л. Воротников, В. Б. Нарушев) разработан агрегат [8] и предложена классификация технических средств strip-till [9]. В ней выделены, в частности, конструктивное исполнение машин (линейное и секционное), технологическое исполнение процесса (однофазное и двухфазное) и степень воздействия на почву (легкая, средняя и тяжелая). В настоящем исследовании эти категории приняты как признаки верхнего уровня и дополнены модульными и детализирующими признаками рабочих секций. Научной школой С. Г. Мударисова (ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ) разработаны рабочие органы и секции с внутрипочвенным и разноуровневым внесением удобрений [10-12]. Научной школой И. Б. Борисенко и М. В. Соколовой (Мезниковой) (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ) проведены исследования рабочих органов глубокой полосовой обработки почвы и разработаны соответствующие орудия [13-15]. Ученые ФГБОУ ВО Орловский ГАУ совместно с индустриальными партнерами (ООО «ДорАгроМаш», ООО «Труженик», ООО «ПлантаСтрип») осуществляют исследования и разработку технических средств технологии Strip-till [3, 4, 16].

Технические средства для реализации технологии strip-till находятся в активной стадии развития, обусловленной совершенствованием агротехнологий, внедрением систем точного земледелия и ростом требований к ресурсоэффективности. Этот прогресс проявляется в усложнении конструкции агрегатов: переходе от простых линейных конструкций к модульным системам с независимой кинематикой секций, интеграции датчиков и исполнительных механизмов для адаптивной работы, а также в расширении функциональности за счет совмещения операций (посев, внесение удобрений). Существующие классификационные схемы, основанные на морфологии машин, не отражают эти качественные изменения. Следовательно, классификационная система должна быть динамичной, открытой для дополнения и корректировки, чтобы адекватно описывать не только текущее состояние, но и перспективные направления развития данного класса технических средств. Её своевременная актуализация является необходимым условием для проведения корректного сравнительного анализа, обоснованного выбора техники и планирования прикладных научных исследований.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью упорядочивания знаний о широком спектре технических решений в области машин для strip-till с учетом их технологического назначения и конструктивного исполнения для целей их дальнейшего изучения, модернизации и адаптации.

Целью исследования является разработка многоуровневой классификации культиваторов для полосовой обработки почвы с пассивными рабочими органами.

Материалы и методы. Исследование проводилось в несколько последовательных этапов с применением методов системного анализа, сравнительного анализа и синтеза.

1. Сбор и первичный анализ информации.

На первом этапе была сформирована целевая аналитическая выборка данных о культиваторах для полосовой обработки почвы. В нее включали серийные и опытные модели с пассивными рабочими органами, для которых в открытых источниках имелось достаточное описание компоновки, назначения рабочих органов и основных технических параметров. При отборе стремились охватить различные конструктивные схемы, производителей и условия применения. Источниками информации служили официальные технические каталоги и брошюры ведущих отечественных и зарубежных производителей (ООО «ДорАгроМаш», ООО «Комплекс Агро», KUHN, HORSCH, Kverneland, Amazone, Gaspardo, Farmet, Bärtschi и др.); специализированные отраслевые обзоры рынка, в частности материалы журнала «Schweizer Landtechnik» и базы данных KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft); научные статьи, посвященные технологии Strip-till и отдельным моделям агрегатов. В качестве источников патентной информации использованы базы данных, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Источники патентной информации
Table 1 – Sources of patent information

Название базы данных / Database name	Страна / Организация / Country / Organization	Официальный сайт для доступа / Official website for access	Ключевые характеристики и примечания / Key Features and Notes
1	2	3	4
Информационно-поисковая система (ИПС) ФИПС / Information and Search System (ISS)	Россия (Роспатент, ФИПС) / Russia	https://www.fips.ru (сервисы в разделах «Поиск», «Электронные сервисы»)	Основная государственная система / The main state system
Яндекс. Патенты / Yandex. Patents	Россия (Яндекс) / Russia (Yandex)	https://yandex.ru/patents	База российских патентов и заявок, включая авторские свидетельства СССР с 1924 года / Database of Russian patents and applications, including USSR copyright certificates since 1924
Espacenet	Европейское патентное ведомство (ЕПВ) / European Patent Office (EPO)	https://worldwide.espacenet.com https://ru.espacenet.com	База с более 140 млн документов из более 90 стран и международных организаций / Database with more than 140 million documents from more than 90 countries and international organizations

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
PATENTSCOPE	ВОИС (WIPO)	https://patentscope.wipo.int	Международные заявки по системе PCT и патентным документам / International applications under the PCT system and patent documents
База данных USPTO / The USPTO database	США / USA	https://patft.uspto.gov	Официальная база патентов США / Official database of USA patents
База данных J-PlatPat / The J-PlatPat database	Япония / Japan	https://www.j-platpat.inpit.go.jp	Официальная система поиска по изобретениям, полезным моделям, товарным знакам и образцам Японии / Official search system for inventions, utility models, trademarks, and designs in Japan
База данных CNIPA / The CNIPA database	Китай / China	http://epub.cnipa.gov.cn	Официальная база патентных документов Китая / Official database of Chinese patent documents

Источник: результаты анализа автора.
Source: author's analysis results.

В анализ включено более 30 моделей агрегатов не менее чем от 20 производителей. Этот массив не рассматривается как статистически репрезентативная выборка всего рынка: он сформирован для качественного сравнительного анализа и построения типологии. Достаточность корпуса оценивали по охвату известных конструктивных вариантов и по насыщению классификационных признаков: включение очередных моделей не должно было приводить к появлению новых признаков верхнего или модульного уровня, тогда как единичные особенности сохранялись на детализирующем уровне. Выводы о полноте классификации относятся к рассмотренному массиву техники и подлежат уточнению по мере появления новых конструкций.

2. Декомпозиция агрегата на функциональные модули.

Каждый анализируемый агрегат был условно разбит на следующие функциональные модули: несущая рама и система навески; модуль предварительной обработки (очиститель обрабатываемой полосы); модуль глубокого рыхления и внесения удобрений; удерживающе-рыхлящий модуль; модуль заделки и уплотнения полосы; модуль посева. Такая декомпозиция позволила структурировать анализ и выделять признаки для каждого модуля независимо.

Наиболее полно учтённые при декомпозиции модули отражает агрегат, разработанный автором [16], который приведен на рисунке 1.

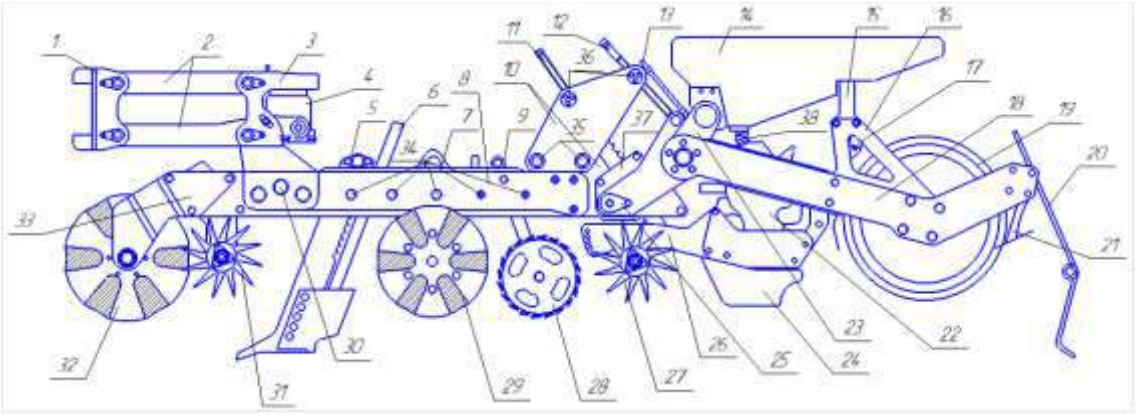


Рисунок 1 – Комбинированная секция для полосовой обработки почвы
и посева сельскохозяйственных культур
Figure 1 – Combined section for strip-tillage and sowing of agricultural crops

Источник: [16] / Source: [16].

Комбинированная секция для полосовой обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур (рисунок 1) представляет собой выстроенный последовательный ряд рабочих органов, установленных в корпусе 3 секции, который через параллелограмный узел копирования, состоящий из рычагов 2, прикреплен к системному носителю – раме скобами (на чертеже не показано) с помощью плиты 1. В корпусе 3 продольно размещены две накладки 8 и закреплены высокопрочными болтами 30. В передней части секции к накладкам 8 на кронштейне 33 установлен основной волнообразный разрезающий диск 32. Он предназначен для разрезания необработанного пласта почвы и пожнивных остатков, формирования первого разреза почвы. Секция обеспечивает максимальную глубину разрезания почвы диском 32 до 15 см. Следом за основным волнообразным разрезающим диском 32 внутри накладок 8 на стойке установлены и закреплены расчищающие обрабатываемую полосу звездообразные рабочие органы 31, предназначенные для удаления пожнивных остатков из зоны обработки почвенной полосы. Далее, внутри накладок 8 установлена стойка 5 с тукопроводом 6 для обеспечения глубокого рыхления и внесения удобрений. Рыхлительные (удерживающие) волнообразные рабочие диски 29 (установлены оппозитно по левую и правую стороны) на стойке 7 расположены внутри накладки 8 за стойкой 5. Диски 29 предназначены для удержания, рыхления и перемешивания почвы в полосе обработки. Максимальная глубина обработки почвы диском 29 составляет 12 см. Сзади волнообразных дисков 29 размещены прикатывающие колеса 28 (установлены оппозитно друг другу) на стойке 9, размещенной внутри накладки 8. Предназначены они для разбивания комков и прикатывания разрыхленной почвы. Стойки рабочих органов секции расположены внутри накладки 8 и зафиксированы высокопрочными болтами 34 и 35. За прикатывающими колесами расположен узел крепления секции сеялки точного высева, состоящий из двух плит 10, внутри которых установлены втулки 36, в которых расположены стойка установочная 11 и винт регулировочный 12 с указателем 13. Стойка 11 с пазами для установки необходимой глубины посева семян и расположена внутри фиксатора 37, фиксирующего стойку 11. Конструктивно на стойке 11 размещен комкоудалитель в виде расчищающих звездообразных колес 27, предназначенных для доочистки от пожнивных остатков и комков из зоны, предназначенной для посева семян. В плите 10 узла крепления секции сеялки точного высева имеются технологические отверстия под палец 25 с механизмом крепления, который является опорной осью кронштейна 23 для крепления на нем в верхней передней части бункера для семян 14 и наклонных направляющих 18 прикатывающего колеса 19. Внутри продольных наклонных направляющих 18 расположены пневматический высевающий аппарат 22, полозовидный сошник 24 с рычагом 26, кронштейн 16 задней опоры 15 бункера для семян 14. Бункер для семян 14 фиксируется застежкой 17 к кронштейну задней опоры 15. Продольные наклонные направляющие 18 имеют форму «клюшки», в задней части которых находится загортач 20 и чистик 21 очищает колесо от прилипшей к нему почве. Бункер для семян 14 и пневматический высевающий аппарат 22 соединены между собой семяпроводом 38, который необходим для подачи семян из бункера 14 в корпус высевающего аппарата 22. В верхней части узла крепления секции сеялки точного высева имеется винт регулировочный 12 с указателем 13, который позволяет уменьшать или увеличивать усилие, которое действует на почву от прикатывающего колеса путем изменения угла наклона продольных направляющих 18. В корпусе 3 секции установлена пневмоподушка 4, предназначенная для создания дополнительного усилия на рабочие органы, препятствующего их выходу из почвы. Подача воздуха в пневмоподушку 4 осуществляется насосом соответствующего типа либо бортовым компрессором трактора. Конструкция секции обеспечивает внесение минеральных удобрений как в жидком, так и в гранулированном видах.

Агрегат, в состав которого входит секция, может содержать различное количество секций: четыре, шесть, восемь, двенадцать и восемнадцать, размещенных на системном носителе – раме. Агрегат может выполняться в навесном, полунавесном или прицепном варианте и применяться при возделывании культур с междурядьями 450, 500, 600 и 700 мм, в том числе кукурузы, сои и свеклы.

В рамках полосовой обработки почвы агрегат можно использовать в весенний период, совмещая обработку почвы и посев, что позволяет выполнять полный цикл подготовки обрабатываемой полосы одновременно с посевом. При работе секции почва активно рыхлится культиваторной стойкой и перемешивается в полосе волнообразными рабочими удерживающими дисками. Наряду с обработкой почвы и посевом имеется возможность внесения удобрений через культиваторную стойку с тукопроводом.

3. Выделение и группировка классификационных признаков.

Для каждого функционального модуля методом сравнительного анализа были выделены варьируемые параметры. Особое внимание уделялось технологическому назначению рабочих органов (признак A) и кинематическим схемам (признаки D, F). Помимо модульных признаков, в схему включены принятые в литературе признаки конструктивного и технологического уровня [9]. Все параметры были сгруппированы по уровням общности:

Признаки верхнего уровня: характеризуют агрегат в целом (производитель и модель, способ агрегатирования, конструктивное исполнение – линейное или секционное, технологическая фазность – однофазное или двухфазное исполнение, степень воздействия на почву – легкая, средняя или тяжелая, принцип компоновки, количество секций и ширина междурядья).

Признаки модульного уровня: характеризуют конкретный функциональный узел (тип основного рабочего органа, принцип компоновки секции).

Детализирующие признаки: уточняющие параметры модуля (способ крепления органов, тип катка и пр.).

4. Построение иерархической классификации.

На заключительном этапе методом синтеза выделенные группы признаков были организованы в логическую иерархическую структуру – «дерево классификации». Взаимосвязи между уровнями проверяли на непротиворечивость и полноту охвата рассмотренных моделей. Проверка проводилась применительно к сформированному аналитическому корпусу; классификация создана как открытая система, допускающая включение новых признаков и вариантов исполнения.

Для обработки данных использовались стандартные офисные приложения, для визуализации – средства построения рисунков и схем.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного анализа разработана многоуровневая классификация, в которой верхний уровень описывает машину в целом, а ключевым модульным элементом является рабочая секция – законченный технологический узел, выполняющий полный цикл операций по формированию одной полосы. Рабочая секция представляет собой последовательный набор органов, реализующих принцип «разрезать – очистить – взрыхлить – удобрить – сформировать и уплотнить».

Общая структура классификации, основанная на этом принципе, представлена на итоговой диаграмме (рисунок 2).

Детализация каждого блока классификации приведена в таблицах 2-3.

Таблица 2 – Классификация по способу агрегатирования с трактором
Table 2 – Classification by the method of aggregation with a tractor

Способ агрегатирования / Method of aggregation	Конструктивные особенности / Design features	Преимущества / Advantages	Недостатки / Flaws	Область применения / Scope of application
Навесной / Mounted	Агрегат крепится к навесной системе трактора (трехточечная схема). Вес и инерция агрегата передаются на задние колеса трактора / The unit is attached to the tractor's hitch system (three-point scheme). The weight and inertia of the unit are transferred to the tractor's rear wheels	Высокая маневренность, простота агрегатирования, лучшее использование сцепного веса трактора, меньший радиус разворота / High maneuverability, ease of aggregation, better use of the tractor's tractive weight, and a smaller turning radius	Ограничение по ширине захвата и массе, необходимость соблюдения балансировки трактора / Limitation in the width of the capture and mass, the need to comply with the balance of the tractor	Наиболее распространен для агрегатов, укомплектованных 4,6 и 8 рабочими секциями) / Most common for units equipped with 4,6 and 8 working sections)
Прицепной / Trailed	Агрегат имеет собственную ходовую часть (колесную тележку) и сцепляется с трактором через дышло с помощью сцепной скобы / The unit has its own chassis (wheeled trolley) and is connected to the tractor through a drawbar using a coupling bracket	Возможность создания агрегатов с большой шириной захвата / The ability to create units with a large working width	Большой радиус разворота, невысокая маневренность, более сложная конструкция и высокая стоимость / Large turning radius, not high maneuverability, more complex design and high cost	Широкозахватные агрегаты, работа на больших полях с относительно простой конфигурацией / Wide-reaching units, working on large fields with a relatively simple configuration

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Полунавесной / Semi-mounted	Комбинированная схема: передняя часть агрегата навешивается на трактор, а задняя опирается на собственную ходовую тележку / Combined scheme: the front part of the unit is attached to the tractor, while the rear part rests on its own chassis	Сочетает хорошую маневренность навесного и устойчивость /грузоподъемность прицепного агрегата. Позволяет создавать широкозахватные машины / Combines the good maneuverability of a mounted unit with the stability and load capacity of a trailed unit. Allows for the creation of the wide-reaching machines	Более сложная конструкция по сравнению с навесными и прицепными моделями, более высокая стоим / More complex design compared to mounted and trailed models, higher cost	Широкозахватные агрегаты, где навесная компоновка невозможна из-за массы, а прицепная – из-за требований к маневренности / Wide-reaching units where a mounted layout is impossible due to weight, and a trailed layout is impossible due to maneuverability requirements

Источник: составлено автором по результатам исследования.
Source: compiled by the author based on the research results.

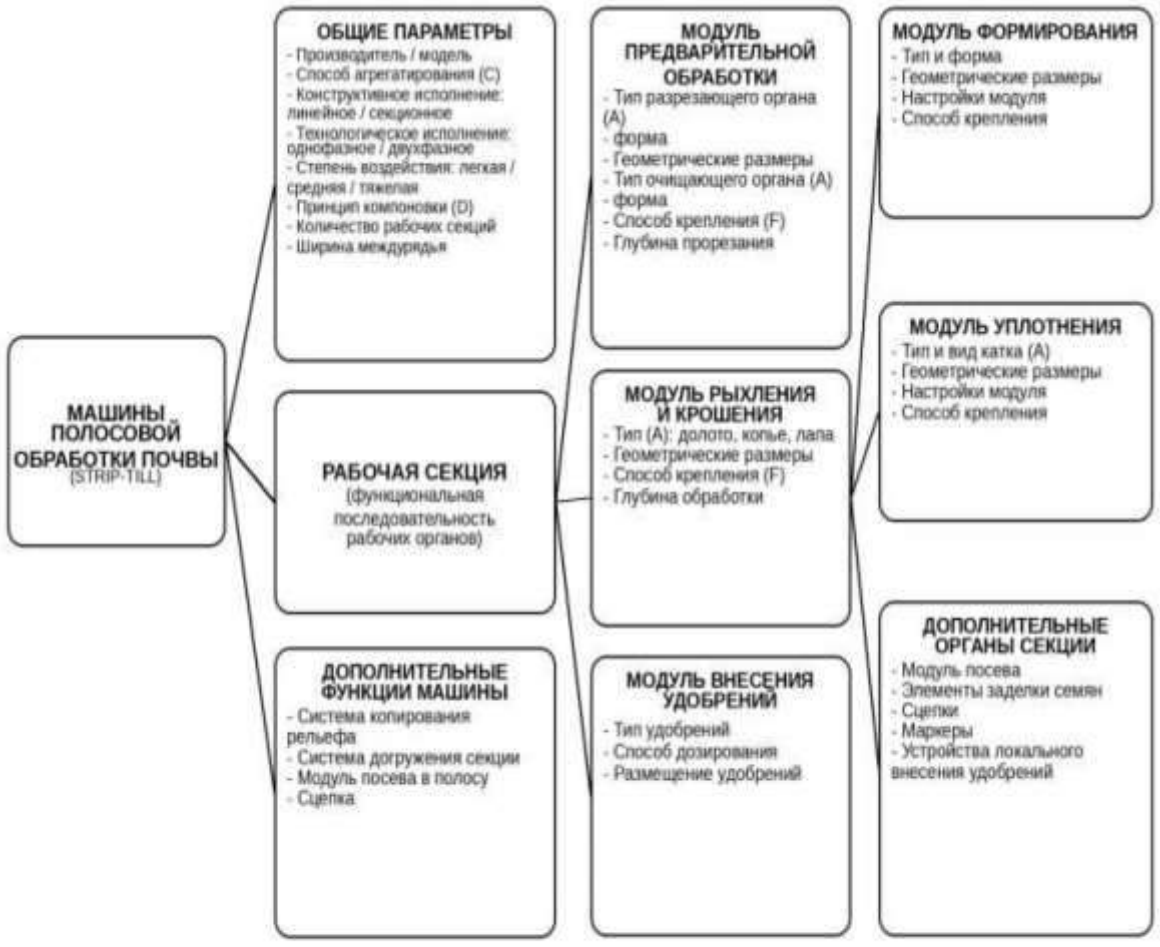


Рисунок 2 – Структурная схема классификации
Figure 2 – General classification structure

Источник: составлен автором по результатам исследования.
Source: compiled by the author based on the research results.

Таблица 3 – Классификация по различным параметрам
Table 3 – Classification by various parameters

Уровень 1 / Level 1	Уровень 2 / Level 2	Уровень 3 / Level 3
1	2	3
Общие параметры и модуль предварительной обработки почвы / General parameters and pretreatment module		
1. Общие параметры / General parameters	1.1. Производитель / модель / Manufacturer / model	Наименование, напр., Комплекс АГРО, г. Барнаул «ST612-45», «ST68-70», ДорАгроМаш, г. Орел серия «Орлик», серия «Скороход» / Name, Complex AGRO, Barnaul "ST612-45", "ST68-70", DorAgroMash, Oryol "Orlik" series, "Skorokhod" series
	1.2. Способ агрегатирования (Признак C) / Aggregation method (Feature C)	Навесной, прицепной, полунавесной / Hinged, trailed, semi-trailed
	1.3. Конструктивное исполнение машины / Design of the machine	Линейное, секционное / Linear, sectional
	1.4. Принцип компоновки рабочей секции, рабочих органов на раме (Признак D) / Layout principle of the working section and working tools on the frame (Feature D)	Жесткая, шарнирно-сочлененная (параллелограмм), независимая (каждый рабочий орган независим) / Rigid, articulated (parallelogram), independent (each working body is independent)
	1.5. Технологическое исполнение процесса / Technological implementation of the process	Однофазное, двухфазное / Single-phase, two-phase
	1.6. Степень воздействия на почву / Degree of soil impact	Легкая, средняя, тяжелая / Light, medium, heavy
	1.7. Количество рабочих секций на раме-носителе / Number of working sections on the carrier frame	4, 6, 8, 12, 18
	1.8. Ширина междурядья / Row spacing width	Стандартная (75 см), узкая (37,5-50 см), переменная (регулируемая) / Standard (75 cm), narrow (37.5-50 cm), variable (adjustable)
2. Модуль предварительной обработки / Preprocessing module	2.1. Тип основного рабочего разрезающего органа (Признак A) / Type of the main cutting working body (Feature A)	Плоские диски, зубчатые диски, гофрированные диски, волнистые диски, ножи, без разрезающего органа / Flat discs, toothed discs, corrugated discs, wavy discs, knives, without a cutting organ
	2.2. Тип основного рабочего очищающего органа (очистители рядка) (Признак A) / Type of the main cleaning working body (row cleaners) (Feature A)	Звездообразный диск, сферический диск, без очистителя рядка / Star-shaped disc, spherical disc, without a row cleaner
	2.3. Способ крепления рабочих органов (Признак F) / Method of attaching the working bodies (Feature F)	Жесткий, шарнирно-пружинный, маятниковый, независимый / Hard, hinge-spring, pendulum, independent
	2.4. Диаметр прорезающего диска, мм / Diameter of the cutting disc, mm	Малый (300-430), средний (450-520), большой (570-680) / Small (300-430), medium (450-520), large (570-680)
	2.5. Глубина прорезания почвы, см / Depth of soil cutting, cm	До 10, 10-20 / Up to 10, 10-20
Модули глубокого рыхления почвы и внесения удобрений / Modules for deep soil loosening and fertilizer application		
3. Модуль рыхления и крошения / Loosening and crumbling module	3.1. Тип основного рабочего органа (Признак A): рыхлящий орган / Type of the main working body (Feature A): loosening body	Долотообразные, копьевидные, стрельчатые лапы / Chisel-shaped, spear-shaped, and arrow-shaped paws
	3.2. Способ крепления рабочих органов (Признак F) / Method of attaching the working bodies (Feature F)	Жесткий, шарнирно-пружинный, маятниковый, независимый / Rigid, hinged-spring, pendulum, and independent

Окончание таблицы 3

1	2	3
	3.3. Ширина наконечника рыхлящего органа, мм / Width of the loosening body tip, mm	Узкий (15-20), средний (25), широкий (30-40) / Narrow (15-20), medium (25), and wide (30-40)
	3.4. Глубина обработки, см / Depth of cultivation, cm	Глубокое (свыше 24) Основное (основная обработка 15-24) Совмещенное (мелкая-поверхностная до 15) / Deep (over 24) Main (main processing 15-24) Combined (fine-surface up to 15)
	3.5. Наконечник рыхлящего органа / Tip of the loosening body	Сменный (твердосплавный), литая лапа, с крыльями / Interchangeable (alloy), cast paw, with wings
	3.6. Защита от перегрузок (препятствия в виде камней и др.) / Protection against overloads (obstacles in the form of stones, etc.)	Отсутствует, гидравлическая, пружинная, механическая (срезной болт) / Missing, hydraulic, spring, mechanical (split bolt)
4. Модуль внесения удобрений / Fertilizer application module	4.1. Тип удобрений / Type of fertilizer	Минеральные (гранулированные), жидкие, органические (жидкий навоз), газообразные (безводные формы) / Mineral (granular), liquid, organic (liquid manure), gaseous (anhydrous forms)
	4.2. Способ дозирования / Dosing method	Механический (высевающий аппарат), гидравлический (насос), пневматический / Mechanical (sowing apparatus), hydraulic (pump), pneumatic
	4.3. Размещение удобрений / Placement of fertilizer	В рядке (на дне), в падающем потоке, на 2-х и более уровнях, на поверхности, объемное / In a row (at the bottom), in a falling stream, at 2 or more levels, on the surface, volumetric
	4.4. Глубина заделки, см / Depth of incorporation, cm	Ступенчатая, бесступенчатая (объемное) / Stepped, non-stepped (volumetric)
Модули формирования и уплотнения почвы, дополнительные органы / Soil formation and compaction modules, additional bodies		
5. Модуль формирования и уплотнения / Forming and sealing module	5.1. Удерживающие-формирующие элементы (Тип) / Retaining and forming elements (Type)	Плоские диски, зубчатые диски, гофрированные диски, волнистые диски, сферические диски, ножи-стойки / Flat discs, toothed discs, corrugated discs, wavy discs, spherical discs, and stand knives
	5.2. Диаметр дисков, мм / Disc diameter, mm	Малый (320-430), средний (450-520), большой (600) / Small (320-430), medium (450-520), and large (600)
	5.3. Настройки модуля / Module settings	Глубины, угла атаки, расстояния между дисками / Depths, angles of attack, and distances between discs
	5.4. Катки-уплотнители / Compaction rollers	Гладкие, ребристые, кольчато-шпоровые, резиновые (пневматические), V-образные / Smooth, ribbed, ring-spiked, rubber (pneumatic), and V-shaped
	5.5. Диаметр катков, мм / Roller diameter, mm	Малый (320-430), средний (450-520), большой (600) / Small (320-430), medium (450-520), large (600)
6. Дополнительные рабочие органы (Признак Б) / Additional working tools (Feature B)	6.1. Модуль посева / Seeding module	Секция сеялки по видам культур и способу посева / Seeding section by crop and sowing method
	6.2. Устройства для локального внесения удобрений / Local fertilizer application devices	Вынесенные трубки-сошники, интегрированные в модуль глубокого рыхления / Extended tubes-sowers integrated into the deep loosening module
	6.3. Устройства заделки семян / Seed cover devices	Загортач прутковый, загортач цепной / Rod-type harrow, chain-type harrow

Источник: составлена автором по результатам исследования.
Source: compiled by the author based on the research results.

Разработанная многоуровневая классификация представляет собой систематизированный свод признаков, охватывающий основные конструктивные варианты культиваторов с пассивными рабочими органами, выявленные в рассмотренном массиве. Она не заменяет ранее принятые классификационные подходы [6-13], а включает их как признаки верхнего уровня и дополняет иерархическим описанием функциональных модулей, технологического назначения рабочих органов и их кинематики.

На верхнем уровне сохранены принятые деления по конструктивному исполнению (линейные и секционные машины), технологической фазности (однофазные и двухфазные) и степени воздействия на почву (легкие, средние и тяжелые). Их интеграция с предложенными признаками (A, B, C, D, F) детализирует классификацию:

Признак A (тип основного рабочего органа) позволил разделить машины по их основному технологическому назначению на этапах обработки, что напрямую связывает конструкцию с агротехническим результатом.

Признак B (тип дополнительных рабочих органов) систематизировал вспомогательные элементы, которые критически важны для качества формирования полосы (катки) и выполнения смежных операций (внесение удобрений).

Признаки C (способ агрегатирования) и D (принцип компоновки) добавили важный эксплуатационный и конструктивный контекст, влияющий на маневренность, производитель.

Признак F (способ крепления рабочих органов) углубил понимание кинематики работы агрегата и его способности противостоять перегрузкам, что является ключевым для надежности и долговечности.

Полученные результаты согласуются с данными других авторов, подчеркивающих значение типа рабочего органа для формирования полосы [1, 6-13] и способа внесения удобрений [2, 10, 11] для эффективности технологии strip-till. Предлагаемая схема не противопоставляется классификации [9], а развивает ее: принятые категории используются для описания машины в целом, а модульные признаки позволяют охарактеризовать состав и кинематику каждой рабочей секции. Например, выбор типа режущего диска (признак A) и способа его крепления (признак F) связан с типом почвы и количеством растительных остатков, а принцип компоновки секции (признак D) определяет устойчивость глубины обработки.

Принципиальным отличием данной работы является введение и детализация понятия «рабочая секция» как базового классификационного модуля. Мы определяем рабочую секцию как конструктивно обособленный узел агрегата, в котором в строгой технологической последовательности размещены рабочие органы, выполняющие полный цикл операций по формированию одной полосы: разрезание и очистка, рыхление и крошение, внесение удобрений, формирование и прикатывание. Такой подход позволяет перейти от описания разрозненных органов к анализу законченных технологических систем.

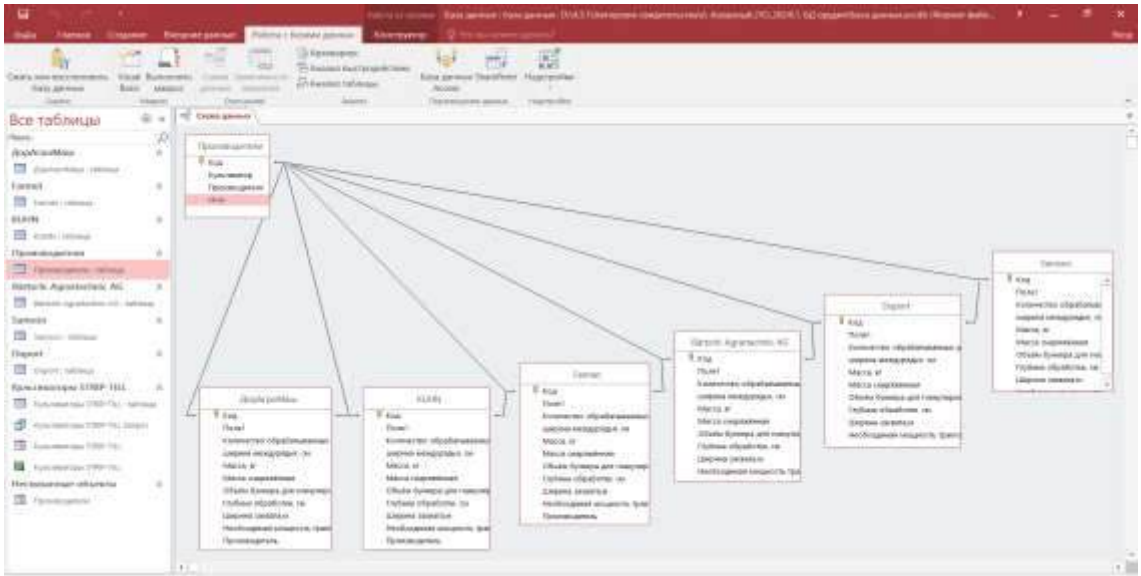


Рисунок 3 – Структурная схема базы данных «Сельскохозяйственные агрегаты технологии STRIP-TILL»
Figure 3 – Database “Agricultural units of STRIP-TILL technology”

Источник: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621543, 2024.
Source: Certificate of state registration of the database No. 2024621543, 2024.

На основе многоуровневой классификации и данных выборочных исследований была сформирована и зарегистрирована в государственном реестре база данных по агрегатам.

База данных «Сельскохозяйственные агрегаты технологии STRIP-TILL» представлена в объективной форме и содержит совокупность материалов, характеризующих сельскохозяйственные агрегаты технологии strip-till. Она обеспечивает ввод и хранение данных по признакам: название орудия, количество обрабатываемых рядов, ширина междурядья, масса, снаряжённая масса, объём бункера для гранулированных удобрений, глубина обработки, ширина захвата, необходимая мощность трактора и другие классификационные признаки. База формирует отчеты по объективным данным, необходимым для их сравнения и применения в зональных технологиях растениеводства с использованием strip-till орудий, и позволяет оптимизировать выбор орудия при их использовании.

В рекомендациях производству, приведённых в источнике [17, стр. 24-25], говорится, цитирую: «Сельхозтоваропроизводителям нельзя ошибиться при выборе тракторов для работы со strip-till-культиватором. Для полосной обработки почвы на оптимальную глубину на одну секцию культиватора требуется 30-40 лошадиных сил. При недостаточной мощности трактора возникают проблемы в виде частых поломок техники, огрехов при обработке, повышенного расхода топлива, малой производительности». Для обеспечения оптимального комплектования машинно-тракторного агрегата автором разработана база данных по тракторам, используемым в зональных производственных технологиях растениеводства.

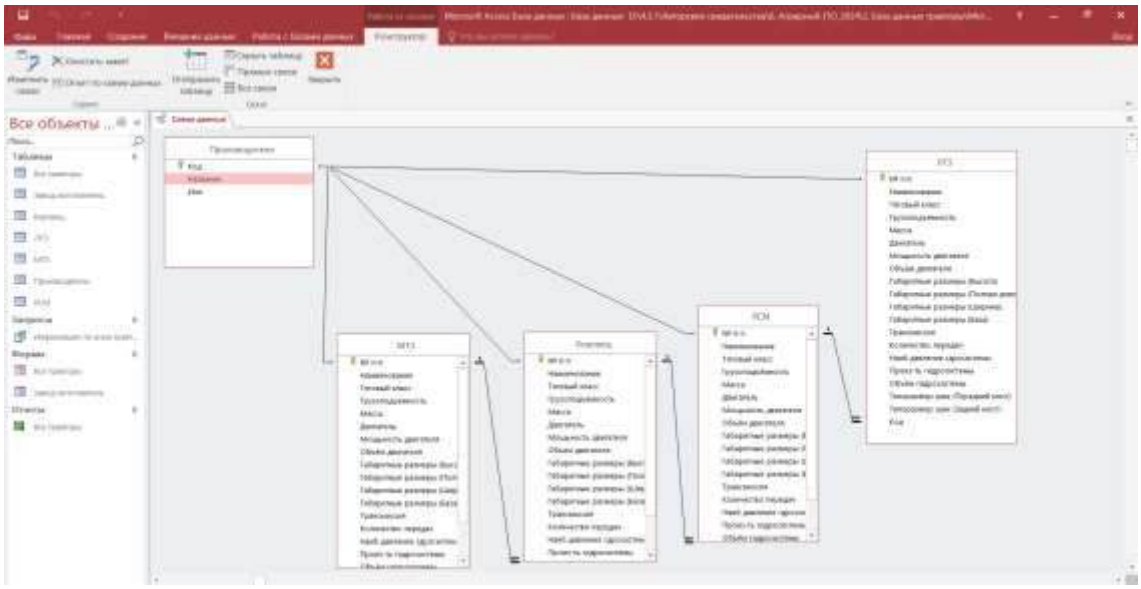


Рисунок 4 – Структурная схема базы данных
«Тракторы, используемые в зональных технологиях STRIP-TILL»
Figure 4 – Structural diagram of the database “Tractors used in zonal STRIP-TILL technologies”

Источник: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024621546, 2024.
Source: Certificate of state registration of the database No. 2024621546, 2024.

База данных «Тракторы, используемые в зональных технологиях STRIP-TILL» представлена в объективной форме и содержит совокупность материалов, характеризующих тракторы, используемые в зональных технологиях полосовой обработки почвы и полосового посева сельскохозяйственных культур.

Обеспечивает ввод и хранение данных по признакам: масса, тяговый класс, двигатель, трансмиссия, габаритные размеры, гидросистема, типоразмеры шин и другие параметры. Формирует отчеты по объективным данным для их сравнения и применения в зональных технологиях полосовой обработки почвы. Позволяет оптимизировать выбор трактора для обеспечения оптимального функционирования машинно-тракторного агрегата при полосовой обработке почвы и полосовом посеве сельскохозяйственных культур.

Выводы. Разработана иерархическая классификация культиваторов для полосовой обработки почвы, в которой конструктивно обособленная «рабочая секция» рассматривается как законченный технологический модуль, выполняющий полный цикл операций по формированию одной полосы.

В единую схему включены принятые классификации машин по конструктивному исполнению (линейные и секционные), технологической фазности (однофазные и двухфазные) и степени воздействия на почву (легкие, средние и тяжелые). Эти признаки связаны с типом основного рабочего органа (A), типом дополнительных органов (Б), способом агрегатирования (C), принципом компоновки (D) и способом крепления рабочих органов (F), что позволяет описывать модели по единой многоуровневой методике.

Практическая значимость классификации подтверждена ее применением для формирования и государственной регистрации специализированных баз данных: «Сельскохозяйственные агрегаты технологии STRIP-TILL» (№ 2024621543) и «Тракторы, используемые в зональных технологиях STRIP-TILL» (№ 2024621546).

Результаты работы имеют прикладное значение для научных исследований, образовательного процесса и инженерной практики сельхозпредприятий при выборе и адаптации техники.

Conclusions. The hierarchical classification of strip-till cultivators has been developed in which the structurally separate working section is treated as the complete technological module performing the full cycle of operations needed to form one strip.

The scheme incorporates established machine-level categories by design (linear and sectional), process phasing (single- and two-phase), and soil-impact intensity (light, medium, and heavy). These categories are linked with the type of the main working body (A), the type of additional bodies (B), the method of aggregation (C), the layout principle (D), and the method of fastening the working bodies (F), enabling models to be described using a unified multilevel methodology.

The practical significance of the classification is confirmed by its application for the formation and state registration of specialized databases: "Agricultural aggregates of STRIP-TILL technology" (No. 2024621543) and "Tractors used in STRIP-TILL zonal technologies" (No. 2024621546).

The results of the work are of applied importance for scientific research, the educational process and engineering practice of agricultural enterprises in the selection and adaptation of equipment.

Библиографический список

1. Morris N. L. et al. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment-A review. Soil & Tillage Research. 2010. No 108 (1). Pp. 1-15.

2. Van den Putte An et al. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. European Journal of Agronomy. 2010. V. 33. I. 3. Pp. 231-241.

3. Севостьянов А. Л., Максимов В. Г., Ветров А. А. Скоростной культиватор полосовой обработки почвы. Техника и оборудование для села. 2024. № 11 (329). С. 20-23.

4. Севостьянов А. Л., Максимов В. Г., Ветров А. А. Культиватор strip-till: варианты, функциональные характеристики и эффективность. Аграрный научный журнал. 2025. № 9. С. 160-168.

5. In Streifen zum Erfolg. Ergänzung zum Schwerpunkt Schweizer Landtechnik Ausgabe Juni/Juli 2021. Ruedi Hunger, Redaktor, Schweizer Landtechnik. https://www.agrartechnik.ch/fileadmin/user_upload/downloads_ verlag/Strip_Till_Markt%C3%BCbersicht.pdf

6. Беляев В. И., Тиссен Р. У. Обоснование рациональных составов почвообрабатывающего агрегата для полосовой обработки почвы в степной зоне Алтайского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (159). С. 51-55.

7. Беляев В. И., Майнель Т., Тиссен Р. Технология «Strip-Till»: особенности конструкций машин ведущих мировых производителей и их применения. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 11 (109). С. 86-91.

8. Бойков В. М., Старцев С. В., Воротников И. Л., Павлов А. В. Комбинированная технология и агрегат для полосовой обработки почвы. МНИЖ. 2021. № 1-1 (103). https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovannaya-tehnologiya-i-agregat-dlya-polosovoy-obrabotki-pochvy

9. Бойков В. М. и др. Классификация машин для полосовой технологии обработки почвы. Аграрный научный журнал. 2020. № 5. С. 72-76.

10. Аминов Р. И. и др. Культиватор для полосовой обработки почвы с прикатывающим катком. Сельский механизатор. 2020. № 5-6. С. 16-17.

11. Аминов Р. И. и др. Рабочий орган для разноуровневого внесения удобрений и посева семян. Сельский механизатор. 2019. № 5. С. 8-9.

12. Тихонов В. В., Мударисов С. Г., Рахимов З. С., Фархутдинов И. М., Ямалетдинов М. М., Ардисламов Д. Д., Валиулин И. Э. Рабочая секция для полосовой обработки почвы. Сельский механизатор. 2016. № 1. С. 6-7.

13. Борисенко И. Б., Соколова М. В. Технологическая схема рабочего органа для полосной глубокой обработки почвы. Нива Поволжья. 2014. № 3 (32). https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskaya-shema-rabochego-organa-dlya-polosnoy-glubokoy-obrabotki-pochvy

14. Борисенко И. Б., Мезникова М. В. Применение ресурсосберегающей технологии Strip-till при выращивании сорго. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6 (56). С. 82-84.

15. Борисенко И. Б., Мезникова М. В. Обоснование конструктивных параметров орудий для выполнения полосовой обработки почвы в энергосберегающей системе земледелия. Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 4 (52). https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-konstruktivnyh-parametrov-orudiy-dlya-vypolneniya-polosovoy-obrabotki-pochvy-v-energosberegayuschey-sisteme-zemledeliya

16. Разработка, сборка и испытания опытного образца комбинированного посевного комплекса для полосового посева сельскохозяйственных культур: отчет о выполнении НИОКР. Орёл, 2024. 212 с.

17. Сафин Х. М. и др. Агротехнические особенности использования Strip-till технологии в растениеводстве (рекомендации производству). Уфа: Мир печати, 2017. 44 с.

References

1. Morris N. L. et al. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment-A review. Soil & Tillage Research. 2010. No 108 (1). Pp. 1-15.
2. Van den Putte An et al. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A me-ta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. European Journal of Agronomy. 2010. V. 33. I. 3. Pp. 231-241.
3. Sevostyanov A. L., Maksimov V. G., Vetrov A. A. High-speed cultivator for strip-till. Machinery and equipment for the village. 2024. No. 11 (329). Pp. 20-23.
4. Sevostyanov A. L., Maksimov V. G., Vetrov A. A. Strip-till cultivator: options, functional characteristics and efficiency. Agrarian scientific journal. 2025. No 9. Pp. 160-168.
5. In stripes for success. Supplement to the focus on Swiss Agricultural Engineering Issue June/July 2021. Ruedi Hunger, Editor, Swiss Agricultural Engineering. https://www.agrartechnik.ch/fileadmin/user_upload/ downloads_verlag/Strip_Till_Markt%C3%BCbersicht.pdf
6. Belyaev V.I., Tissen R.U. Justification of rational compositions of a tillage unit for strip tillage in the steppe zone of Altai region. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2018. No 1 (159). Pp. 51-55.
7. Belyaev V. I., Meinel T., Thiessen R. (2013). Strip-Till Technology: Features of Machines from Leading World Manufacturers and Their Application. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2013. No 11 (109). Pp. 86-91.
8. Boikov V. M., Startsev S. V., Vorotnikov I. L., Pavlov A. V. (2021). Combined Technology and Unit for Strip Tillage. International Scientific Journal. 2021. No 1-1 (103). https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovannaya-tehnologiya-i-agregat-dlya-polosovoy-obrabotki-pochvy
9. Boikov V. M. et al. Classification of Machines for Strip-Till Soil Cultivation Technology. Agrarian Scientific Journal. 2020. No 5. Pp. 72-76.
10. Aminov R. I. et al. Cultivator for Strip Tillage with a Packing Roller. Rural Mechanic. 2020. No 5-6. Pp. 16-17.
11. Aminov R. I. et al. Working Tool for Multi-Level Fertilizer Application and Seed Sowing. Rural Mechanic. 2019. No 5. Pp. 8-9.
12. Tikhonov V. V., Mudarisov S. G., Rakhimov Z. S., Farkhutdinov I. M., Yamaletdinov M. M., Ardislamov D. D., Valiulin I. E. Working Section for Strip Tillage. Rural Mechanic. 2016. No 1. Pp. 6-7.
13. Borisenko I. B., Sokolova M. V. Technological Scheme of a Working Tool for Strip Deep Soil Cultivation. Niva Povolzhya. 2014. No 3 (32). https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskaya-shema-rabochego-organa-dlya-polosnoy-glubokoy-obrabotki-pochvy
14. Borisenko I. B., Mezhnikova M. V. Application of the Resource-Saving Strip-Till Technology for Growing Sorghum. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2015. No 6 (56). Pp. 82-84.
15. Borisenko I. B., Mezhnikova M. V. Substantiation of Design Parameters of Implements for Performing Strip Tillage in an Energy-Saving Farming System. Bulletin of Agrarian Science of the Don. 2020. No 4 (52). https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-konstruktivnyh-parametrov-orudiy-dlya-vypolneniya-polosovoy-obrabotki-pochvy-v-energosberegayuschey-sisteme-zemledeliya
16. Development, Assembly and Testing of a Prototype Combined Seeding Complex for Strip Planting of Agricultural Crops: Final Report on R&D. Oryol, 2024. 212 p.
17. Safin Kh. M. et al. Agronomic Features of Using Strip-Till Technology in Crop Production (Recommendations for Production). Ufa: Mir Pechati, 2017. 44 p.

Информация об авторах

Севостьянов Александр Леонидович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ (Российская Федерация, 302019, Орловская область, г. Орёл, ул. Генерала Родина, д. 69), https://orcid.org/0000-0001-8555-5678, SPIN code: 8675-3876, e-mail: sewostya@list.ru

Author's Information

Sevostyanov Aleksandr Leonidovich, Candidate of Engineering Sciences, Head of Department, Orel State Agrarian University (Russian Federation, 302019, Orel, General Rodin Str., 69), https://orcid.org/0000-0001-8555-5678, SPIN code: 8675-3876, e-mail: sewostya@list.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-68

THE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK DEVELOPMENT FOR THE FRUIT CROPS CLASSIFICATION IN THE TECHNICAL VISION SYSTEMS OF ROBOTIC POST-HARVEST PROCESSING COMPLEXES

Tokarev K. E., Vorob'eva N. S., Fomin S. D., Zakharov E. N., Naumov A. Yu.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vgsxa@mail.ru

Received 29.05.2026 Submitted 03.07.2026

The research was conducted as part of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation's research project "Development of resource-saving machines for cultivating agricultural crops and systems for the rational use of agricultural biocenoses based on innovative digital technologies in the context of risky farming for obtaining environmentally friendly processed plant products."

Summary

The convolutional neural network architecture for binary classification of apple fruits (healthy/diseased) was developed, achieving 98.85 % accuracy and an AUC of 0.9995. The model size is 15 MB with an inference time of 45 ms, making it suitable for deployment on edge computing devices of robotic manipulators. The proposed system effectively automates post-harvest sorting, eliminating the human factor and ensuring consistent product quality.

Abstract

Introduction. The shortage of qualified personnel in the agro-industrial complex stimulates the automation of post-harvest processing, where quality control and fruit sorting are the most labor intensive operations. The integration of machine vision technologies and robotics makes it possible to eliminate the influence of the human factor and ensure consistently high product quality. **Object.** The object of the study is the process of binary classification of apple fruits (healthy / diseased) within machine vision systems of robotic manipulators for post-harvest processing. **Materials and methods.** A dataset of 9,991 color images with expert labelling of two classes was created. Augmentation techniques (rotation, reflection, brightness adjustment, shear, zoom) were applied, increasing the sample size to approximately 50,000 examples. The convolutional neural network architecture was developed, comprising three convolutional blocks (32-64-64 filters), MaxPooling2D and Dropout layers (0.25-0.5), fully connected layers, and a sigmoid output activation function. **Results and conclusion.** The developed architecture achieved an overall accuracy of 98.85 %, an area under the ROC curve (AUC) of 0.9995, a precision of 99.70 %, and a recall of 98.02 %. The model size is 15 MB, and the inference time is 45 ms, confirming its suitability for deployment on edge computing devices of robotic manipulators. The proposed neural network model has proven its effectiveness for binary fruit classification tasks within robotic sorting lines.

Keywords: *convolutional neural networks, image classification, computer vision, technical vision systems, robotic manipulators, post-harvest fruit processing.*

Citation. Tokarev K. E., Vorob'eva N. S., Fomin S. D., Zakharov E. N., Naumov A. Yu. The convolutional neural network development for the fruit crops classification in the technical vision systems of robotic post-harvest processing complexes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 616-626 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-68.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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 004.8:631.362:634.11

РАЗРАБОТКА СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ

Токарев К. Е., *кандидат экономических наук, доцент*
Воробьева Н. С., *доктор технических наук, профессор*
Фомин С. Д., *доктор технических наук, профессор*
Захаров Е. Н., *кандидат технических наук, доцент*
Наумов А. Ю., *магистрант*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках НИР Минобрнауки РФ «Разработка ресурсосберегающих машин для возделывания сельскохозяйственных культур и систем рационального использования агробиоценозов на основе инновационных цифровых технологий в условиях рискованного земледелия для получения экологически чистых продуктов переработки растительного сырья».

Актуальность. Дефицит квалифицированных кадров в агропромышленном комплексе стимулирует автоматизацию послеуборочной обработки, где контроль качества и сортировка плодов являются наиболее трудоёмкими операциями. Интеграция технологий машинного зрения и робототехники позволяет исключить влияние человеческого фактора и обеспечить стабильно высокое качество продукции. **Объект.** Объектом исследования является процесс бинарной классификации плодов яблони (здоровые / поражённые заболеваниями) в составе систем технического зрения роботизированных манипуляторов послеуборочной обработки. **Материалы и методы.** Сформирован датасет из 9 991 цветного изображения с экспертной разметкой двух классов. Применены методы аугментации (поворот, отражение, изменение яркости, сдвиг, масштабирование), увеличившие выборку до ~50 000 примеров. Разработана архитектура свёрточной нейронной сети с тремя свёрточными блоками (32-64-64 фильтра), слоями MaxPooling2D и Dropout (0,25-0,5), полносвязными слоями и выходной функцией активации sigmoid. **Результаты и выводы.** Разработанная архитектура достигла общей точности 98,85 %, площади под ROC-кривой AUC = 0,9995, точности положительного класса 99,70 % и полноты 98,02 %. Размер модели составляет 15 МБ, время инференса – 45 мс, что подтверждает пригодность для работы на устройствах периферийных вычислений роботизированных манипуляторов. Предложенная нейросетевая модель доказала свою эффективность для задач бинарной классификации плодов в составе роботизированных сортировочных линий.

Ключевые слова: *сверточные нейронные сети, классификация изображений, компьютерное зрение, системы технического зрения, роботизированные манипуляторы, послеуборочная обработка плодов.*

Цитирование. Токарев К. Е., Воробьева Н. С., Фомин С. Д., Захаров Е. Н., Наумов А. Ю. Разработка сверточной нейронной сети для классификации плодовых культур в системах технического зрения роботизированных комплексов послеуборочной обработки. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 616-626. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-68.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Климатическая нестабильность и рост частоты неблагоприятных погодных явлений ведут к существенным потерям качества урожая плодовых и ягодных культур, что представляет особую проблему для агропредприятий садоводческого профиля [1]. В сложившихся условиях яблоневые насаждения испытывают стрессовые воздействия, приводящие к развитию заболеваний и снижению товарной ценности плодов.

В отечественном агропромышленном комплексе всё чаще используются технологии искусственного интеллекта (ИИ) для повышения эффективности послеуборочной обработки, сортировки и хранения плодоовощной продукции [2]. Применение методов машинного обучения и компьютерного зрения позволяет автоматизировать процессы контроля качества, снизить зависимость от человеческого фактора и повысить производительность сортировочных линий [3]. Одним из ключевых факторов успешного создания систем ИИ для плодоводства является формирование релевантного набора данных (dataset), который позволяет обучать модели глубокого обучения для реальных производственных условий [4].

Целью исследования является разработка и валидация архитектуры искусственной нейронной сети со сверточными слоями для бинарной классификации плодов яблони, обеспечивающей точное разделение здоровых и поражённых заболеваниями плодов в режиме реального времени, а также обоснование методологии её интеграции в системы технического зрения роботизированных комплексов послеуборочной обработки.

Научная новизна заключается в разработке оптимизированной архитектуры сверточной нейронной сети сбалансированного типа, включающей три каскада сверточных блоков с механизмами регуляризации (Dropout), что позволяет достичь площади под ROC-кривой AUC = 0,9995 и общей точности 98,85 % при сохранении вычислительной лёгкости, необходимой для инференса в реальном времени на устройствах периферийных вычислений роботизированных манипуляторов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Сформировать датасет из более 9 990 цветных изображений плодов яблони с экспертной разметкой на два класса (здоровый (healthy), пораженный (diseased)) и последующей аугментацией.
2. Разработать архитектуру сверточной нейронной сети с оптимальным балансом между точностью и быстродействием.
3. Обучить и осуществить валидацию макропараметров модели с применением методов регуляризации для предотвращения переобучения.
4. Создать веб-интерфейс для практического применения модели в системах контроля качества.

Материалы и методы. Интеграция технологий машинного зрения и робототехники позволяет повысить производительность труда, исключить влияние человеческого фактора и обеспечить стабильно высокое качество продукции, что критически важно в условиях глобальной конкуренции на рынке плодовоовощной продукции [5, 6].

Первым этапом создания нейросетевой технологии для автоматизированной сортировки плодов яблони в роботизированных системах послеуборочной обработки являлось формирование набора данных в виде цветных изображений здоровых и подверженных типовым поражениям плодов яблоневых культур [7]. На рисунке 1 представлены техники аугментации исходных изображений, применяемые для расширения обучающей выборки и повышения обобщающей способности нейросетевой модели на основе набора данных, сформированного в ходе исследования. Верхний ряд иллюстрирует преобразования исходного изображения здоровых плодов, нижний ряд – поражённого заболеванием плода.

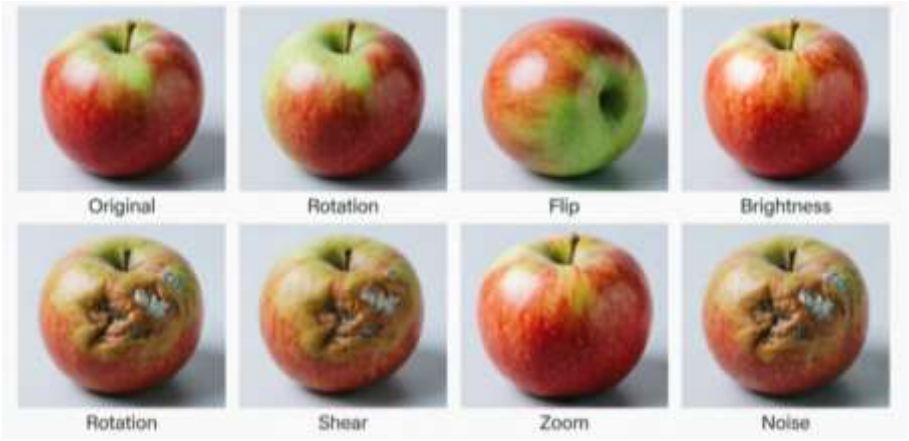


Рисунок 1 – Исходные и аугментированные изображения сформированного авторами набора данных (составлено авторами)
Figure 1 – The original and augmented images of the dataset generated by the authors (compiled by the authors)

Для формирования релевантного набора изображений и его искусственного расширения применялся комплекс методов аугментации [8, 9]. К ним относятся случайный поворот изображений (Rotation) в диапазоне до 15 градусов, обеспечивающий инвариантность модели к ориентации плода в кадре; горизонтальное и вертикальное отражение (Flip) для увеличения разнообразия исходных данных; корректировка яркости (Brightness) в пределах до 20 %, имитирующая различные условия освещения (естественный и искусственный свет, наличие теней). Дополнительно использовались трансформация сдвига (Shear) для моделирования перспективных искажений при съёмке с различных ракурсов, а также случайное масштабирование (Zoom) изображений в диапазоне от 90 до 110 % от исходного размера, повышающее устойчивость модели к изменению расстояния от камеры до объекта.

Применение комплекса методов аугментации позволило увеличить объём исходного датасета (более 9 900 изображений) приблизительно в 5 раз, составив около 50 000 обучающих примеров, что позволило существенно снизить риск переобучения нейронной сети и обеспечить высокую устойчивость модели к вариациям условий съёмки, характерным для реальных производственных условий эксплуатации роботизированных сортировочных линий [6].

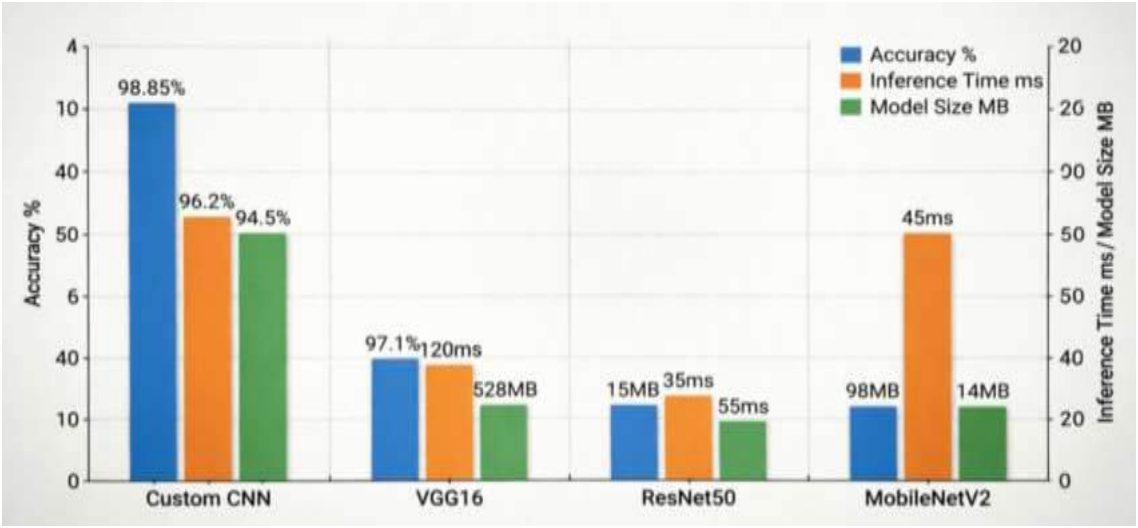


Рисунок 2 – Сравнительный анализ производительности различных архитектур сверточных нейронных сетей для задач классификации плодов яблони (Custom CCN-созданная авторами)
Figure 2 – Comparative analysis of the performance of various architectures of convolutional neural networks for apple fruit classification tasks (Custom CCN-created by the authors)

На рисунке 2 представлена сравнительная диаграмма четырех архитектур нейронных сетей (Custom CNN, VGG16, ResNet50, MobileNetV2) по трем ключевым метрикам производительности:

1) Точность классификации (Accuracy, %) – разработанная архитектура Custom CNN демонстрирует наилучший результат – 98,85 %, превосходя известные предобученные модели: VGG16 (96,2 %), ResNet50 и MobileNetV2 (94,5 %).

2) Время вывода (Inference Time, ms) – показатель быстродействия модели при обработке одного изображения. Custom CNN показывает время inference 45 мс, что обеспечивает возможность работы в реальном времени в составе роботизированной системы.

3) Размер модели (Model Size, MB) – объем памяти, необходимый для хранения весов нейронной сети. Разработанная Custom CNN имеет размер 15 МБ, что существенно меньше VGG16 (528 МБ) и сопоставимо с MobileNetV2 (14 МБ), при этом обеспечивая значительно более высокую точность классификации.

Разработанная авторами архитектура сверточной нейронной сети (Custom CNN) демонстрирует оптимальный баланс между точностью, быстродействием и размером модели. Высокая точность (98,85 %) при компактном размере модели (15 МБ) и приемлемом времени обработки (45 мс) делает данную архитектуру предпочтительной для развертывания на встраиваемых системах роботизированных манипуляторов с ограниченными вычислительными ресурсами, в отличие от тяжелых архитектур типа VGG16, требующих значительных вычислительных мощностей [10].

Первым этапом исследования стала разработка искусственной нейронной сети на основе фреймворка TensorFlow 2.19.0, включающая:

1. Первый сверточный блок:
- Conv2D (32 фильтра, ядро 3×3, активация ReLU);
- MaxPooling2D (пул 2×2);
- Dropout (0,25).
2. Второй сверточный блок:
- Conv2D (64 фильтра, ядро 3×3, активация ReLU);
- MaxPooling2D (пул 2×2);
- Dropout (0,25).
3. Третий сверточный блок:
- Conv2D (64 фильтра, ядро 3×3, активация ReLU);
- MaxPooling2D (пул 2×2);
- Dropout (0,25).
4. Полносвязные слои:
- Flatten (векторизация);
- Dense (64 нейрона, активация ReLU);
- Dropout (0,5);
- Dense (1 нейрон, активация sigmoid).

На рисунке 3 представлена архитектура разработанной сверточной нейронной сети, отражающая последовательное расположение слоёв: трёх сверточных блоков (Conv2D; MaxPooling2D; Dropout), слоя векторизации (Flatten), полносвязных слоёв (Dense) и выходного слоя с функцией активации Sigmoid для бинарной классификации.

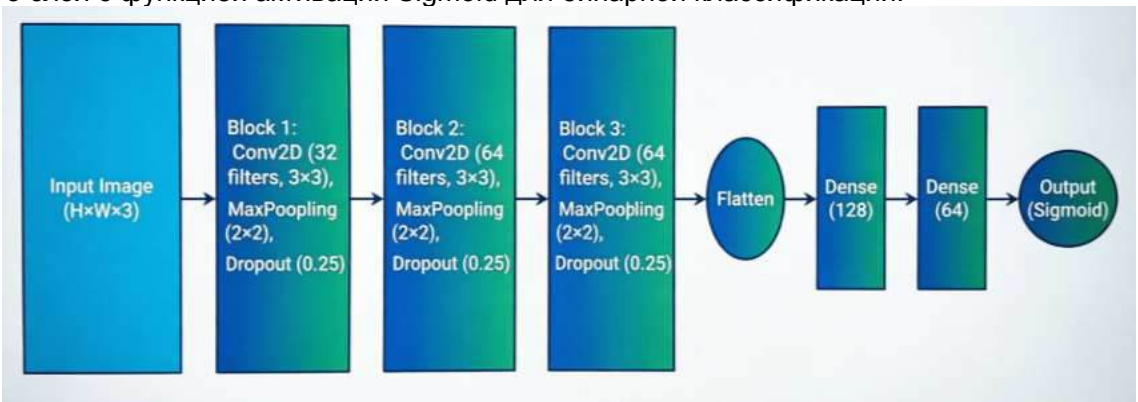


Рисунок 3 – Архитектура разработанной нейронной сети со сверточными слоями для классификации плодов яблони (составлено авторами)

Figure 3 – Architecture of the developed neural network with convolutional layers for apple fruit classification (compiled by the authors)

Результаты. На рисунке 4 представлена динамика обучения разработанной сверточной нейронной сети, отражающая изменение точности классификации (accuracy) и функции потерь (loss) на обучающей и валидационной выборках на 50 эпохах.

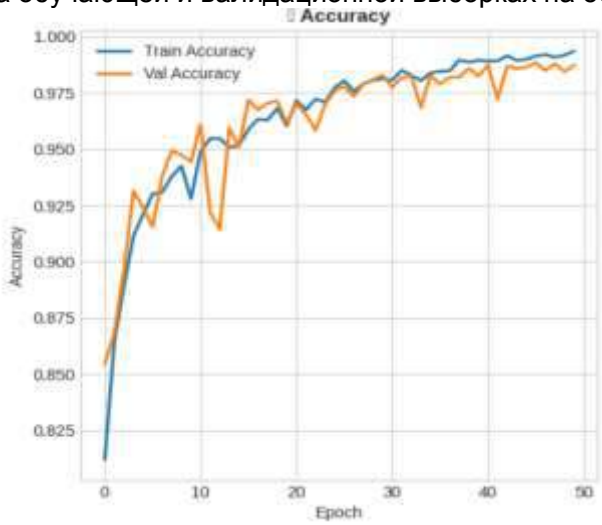


Рисунок 4 – Динамика изменения точности классификациив процессе обучения нейронной сети (составлено авторами)
Figure 4 – Dynamics of changes in classification accuracy during neural network training (compiled by the authors)

Анализ кривых точности классификации (рисунок 4) демонстрирует устойчивую положительную динамику. В начальной фазе обучения (эпохи 0-10) наблюдается стремительный рост точности с 0,85-0,86 до 0,95-0,96, что свидетельствует об эффективной инициализации весов и быстрой сходимости модели. При этом в диапазоне эпох 10-15 отмечаются незначительные колебания метрики на валидационной выборке, обусловленные адаптацией параметров модели. На промежуточном этапе (эпохи 10-30) точность продолжает возрастать, достигая плато на уровне 0,97-0,98. Кривые обучающей и валидационной точности демонстрируют высокую степень корреляции, что указывает на отсутствие переобучения и хорошую обобщающую способность модели. В финальной фазе (эпохи 30-50) происходит стабилизация метрик на уровне 0,98–0,99 для обучающей выборки и 0,985-0,99 для валидационной. Минимальный разрыв между кривыми (менее 0,5 %) подтверждает устойчивость обучения и отсутствие эффекта запоминания обучающих примеров.

На рисунке 5 представлены результаты комплексной оценки качества разработанной нейронной сети для бинарной классификации яблок на здоровые и поражённые заболеваниями, включающие ROC-кривую, матрицу ошибок и распределение вероятностных предсказаний модели.

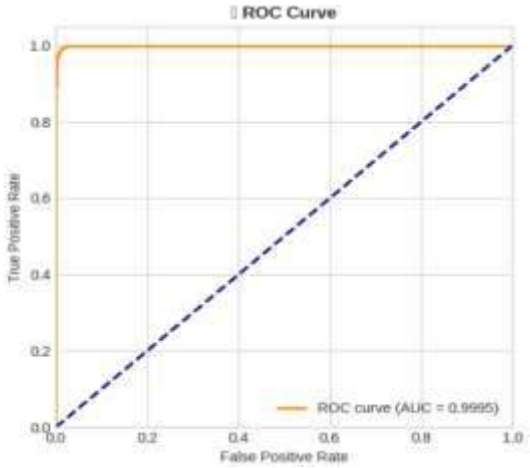


Рисунок 5 – ROC-кривая разработанной сверточной нейронной сети (составлено авторами)
Figure 5 – ROC curve of the developed convolutional neural network (compiled by the authors)

ROC-кривая и площадь под кривой (AUC-ROC**)** (рисунок 5) характеризует способность модели различать классы. Площадь под кривой составила AUC = 0,9995, что свидетельствует о высокой точности классификации. Кривая демонстрирует стремительный рост истинно положительных срабатываний (True Positive Rate) до значения 1,0 при минимальном уровне ложных срабатываний (False Positive Rate < 0,01). Высокое значение AUC указывает на исключительную способность модели различать здоровые и больные яблоки независимо от выбранного порога классификации.

Приведённая на рисунке 6 матрица ошибок детализирует результаты классификации на валидационной выборке из 1 998 изображений. Количество истинно положительных срабатываний (True Positive, TP) составило 991, что соответствует числу больных яблок, правильно идентифицированных как поражённые заболеваниями. Истинно отрицательные срабатывания (True Negative, TN) достигли 984 – столько здоровых яблок было правильно классифицировано как здоровые. Ложноотрицательные результаты (False Negative, FN) зафиксированы в количестве 20: в этих случаях больные яблоки ошибочно отнесены к здоровым (ошибка II рода, 1,0 % от общего числа выборки). Ложноположительные срабатывания (False Positive, FP) составили 3: здоровые яблоки ошибочно отбракованы как больные (ошибка I рода, 0,15 % от общего числа).

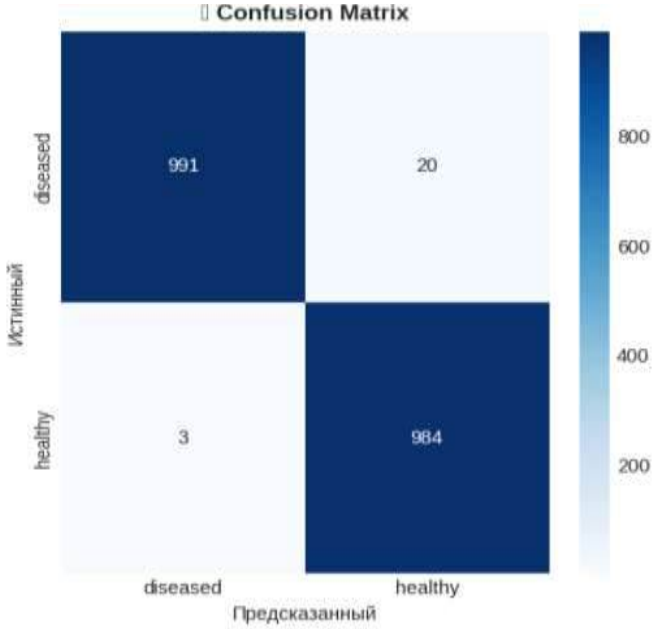


Рисунок 6 – Матрица ошибок (confusion matrix) разработанной нейронной сети на валидационной выборке из 1 998 изображений (составлено авторами)
Figure 6 – The error matrix of the developed neural network based on a validation sample of 1 998 images (compiled by the authors)

В ходе исследования решена актуальная задача разработки искусственной нейронной сети для автоматической классификации яблок на здоровые и поражённые заболеваниями, предназначенной для интеграции в систему технического зрения роботизированного манипулятора.

В ходе проведённого исследования по разработке нейросетевой модели для бинарной классификации яблок получены следующие результаты:

1) сформирован репрезентативный датасет из 9991 цветного изображения яблок с экспертной разметкой на два класса (healthy, diseased), обеспечивающий обучение модели для реальных производственных условий.

2) разработана архитектура сверточной нейронной сети, включающая три сверточных блока с фильтрами 32-64-64, механизмы регуляризации Dropout и полносвязные слои. Выбранная структура обеспечивает оптимальный баланс между точностью классификации и быстродействием, необходимым для работы в реальном времени.

3) достигнуты высокие показатели качества классификации:
- общая точность: 98,85 %;
- площадь под ROC-кривой: AUC = 0,9995 (практически идеальная классификация);
- точность положительного класса: Precision = 99,70 %;
- полнота обнаружения: Recall = 98,02 %;
- ложноположительные срабатывания: FP = 3 (0,15 %);
- ложноотрицательные срабатывания: FN = 20 (1,0 %).

Для практического применения модели разработан интерактивный веб-интерфейс (рисунок 7) на базе библиотеки Gradio, позволяющий:
- загружать изображения яблок для анализа;
- получать прогноз с вероятностной оценкой;
- визуализировать результаты классификации.



Рисунок 7 – Результаты классификации плодов яблони разработанной нейронной сетью (составлено авторами)
Figure 7 – The results of apple fruit classification by the developed neural network (compiled by the authors)

Данная разработка позволяет снизить себестоимость продукции, уменьшить трудозатраты, повысить качество продукции за счет стабильного контроля из-за отсутствия человеческого фактора.

На рисунке 8 представлена архитектура веб-интерфейса для практического применения разработанной сверточной нейронной сети в задачах контроля качества плодов яблони. Система реализует пятиэтапный процесс обработки изображений:

1) Загрузка изображения (Image Upload) – пользователь загружает фотографию яблока через веб-интерфейс или камеру.

2) Предварительная обработка (Preprocessing) – автоматическое изменение размера изображения до формата 150x150 пикселей и нормализация значений пикселей для приведения данных к формату, требуемому нейросетевой моделью.

3) Классификация нейросетевой моделью – обработка изображения обученной сверточной нейронной сетью для извлечения признаков и принятия решения о принадлежности плода к определенному классу.

4) Постобработка результатов (Postprocessing) – применение функции активации «softmax» или «sigmoid» и расчет вероятностных оценок принадлежности к каждому из классов (здоровое/пораженное).

5) Визуализация результатов (Result Visualization) – визуализация результатов классификации: процентное соотношение вероятностей (например, 92 % – здоровое, 8 % – пораженное), цветовая индикация (зеленый/красный) и текстовое указание класса («здоровый плод» («healthy»)).

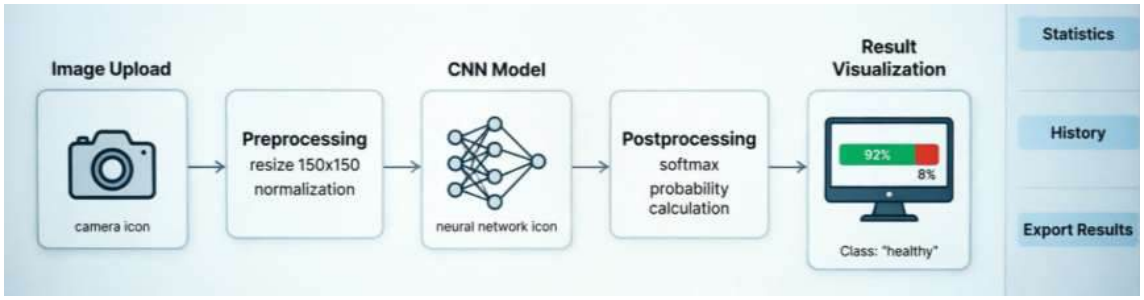


Рисунок 8 – Компоненты веб-интерфейса системы классификации плодов яблони с применением библиотеки Gradio
Figure 8 – Components of the web interface of the apple fruit classification system using the Gradio library

На рисунке 9 представлена последовательность технологических процессов системы компьютерного зрения роботизированного манипулятора, осуществляющего бинарную классификацию плодов яблони [11]. Рабочий процесс включает пять основных этапов:

1) Захват изображения – камера производит съемку яблока в реальном времени.

2) Обработка изображения – выполняется предварительная обработка данных и извлечение признаков для подготовки изображения к анализу.

3) Классификация – на основе разработанной сверточной нейронной сети принимается решение о принадлежности плода к классу здоровых или пораженных заболеваниями с точностью 98,2 %.

4) Управление роботизированным манипулятором – на основе результатов классификации формируются команды для выполнения операций захвата и размещения [12].

5) Сортировка плодов – яблоки распределяются в соответствующие контейнеры: здоровые плоды (зеленый контейнер) и пораженные заболеваниями (красный контейнер).

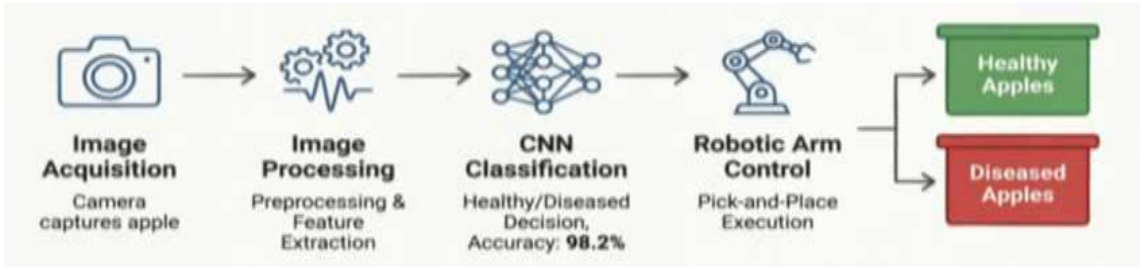


Рисунок 8 – Структура системы роботизированного манипулятора для автоматической сортировки яблок (составлено авторами)
Figure 8 – The structure of the robotic arm system for automatic apple sorting (compiled by the authors)

Заключение. Структура системы роботизированного манипулятора для автоматической сортировки плодов яблоневых культур демонстрирует высокую степень интеграции методов компьютерного зрения с роботизированными системами для автоматизации послеуборочной обработки сельскохозяйственной продукции [13, 14]. В дальнейшем возможно усовершенствование системы для задач множественной классификации с целью выявления конкретного вида заболевания (парша, плодовая гниль, мучнистая роса, солнечный ожог и др.), а также адаптация её для работы с другими плодовыми культурами (груши, персики, сливы).

Conclusion. The structure of the robotic manipulator system for automatic sorting of apple fruit crops demonstrates a high degree of integration of computer vision methods with robotic systems for automating post-harvest processing of agricultural products [13, 14]. Further improvement of the system is possible for multi-class classification tasks aimed at identifying specific types of diseases (scab, fruit rot, powdery mildew, sunburn, etc.), as well as its adaptation for use with other fruit crops (pears, peaches, plums).

Библиографический список

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 21 января 2020 года № 20.

2. Послание Президента РФ Федеральному Собранию от 29.02.2024. http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/73585

3. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145. http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358

4. Якушев В. В., Якушев В. П., Матвеенко Д. А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии. Земледелие. 2020. № 1. С. 33-37.
5. Белоусов И. С., Рогачев А. Ф. Нейросетевой анализ изображений в сельском хозяйстве с использованием SaaS системы. Инженерный вестник Дона. 2022. № 8 (92). С. 152-161.
6. Мелихова Е. В. и др. Нейросетевая технология поиска и диагностики заболеваний полевых культур по RGB изображениям их листьев. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 36-44.
7. Токарев К. Е., Рогачев А. Ф., Фомин С. Д. Нейросетевая технология распознавания патологий развития однолетних полевых культур по RGB изображениям посевов. Известия НВ АУК. 2025. № 5 (83). С. 201-209.
8. Хорт Д. О. и др. Разработка программно-аппаратного комплекса с мобильным приложением на основе нейронной сети для мониторинга плодов яблони в кроне дерева. Садоводство и виноградарство. 2023. № 1. С. 43-51.
9. Федоренко В. Ф. и др. Разработка FPV-системы технического зрения для распознавания и анализа биологических объектов в садоводстве на основе сверточных нейронных сетей. Техника и оборудование для села. 2025. № 3 (333). С. 2-6.
10. Воробьева Н. С., Жога В. В., Несмиянов И. А. Отслеживание приводами манипулятора параллельно-последовательной структуры программных перемещений рабочего органа. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2019. № 2. С. 154-165.
11. Nesmianov I. et al. Synthesis of control algorithm and computer simulation of robotic manipulator-tripod. Communications in Computer and Information Science. 2015. V. 535. Pp. 391-403.
12. Воробьева Н. С., Жога В. В., Жога Л. В. Динамический синтез алгоритмов управления манипулятором параллельно-последовательной структуры. Мехатроника, автоматизация, управление. 2020. Т. 21. № 12. С. 706-715.
13. Несмиянов И. А. и др. Система управления манипулятора сельскохозяйственного робота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3 (35). С. 226-231.
14. Dyashkin-Titov V. V. et al. Dynamics of the manipulator parallel-serial structure. Advances in Mechanical Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer, 2018. Pp. 33-43.

Reference

1. The Food Security Doctrine of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated January 21, 2020.
2. The Address of the President of the Russian Federation to the Federal Assembly dated February 29, 2024. http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/73585
3. On the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation No. 145 dated February 28, 2024. http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358
4. Yakushev V. V., Yakushev V. P., Matveenko D. A. Intelligent systems for supporting technological solutions in precision farming. Agriculture. 2020. No 1. Pp. 33-37.
5. Belousov I. S., Rogachev A. F. Neural network analysis of images in agriculture using the SaaS system. Engineering Bulletin of the Don. 2022. No 8 (92). Pp. 152-161.
6. Melikhova E. V. et al. Neural network technology for searching and diagnosing diseases of field crops based on RGB images of their leaves. Proceedings of the Nizhnevolzhskii Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 36-44.
7. Tokarev K. E., Rogachev A. F., Fomin S. D. Neural network technology for recognizing pathologies of the development of annual field crops based on RGB images of crops. Proceedings of the Nizhnevolzhskii Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 5 (83). Pp. 201-209.
8. Khort D. O. et al. Development of a software and hardware complex with a mobile application based on a neural network for monitoring apple tree fruits in the tree crown. Horticulture and Viticulture. 2023. No 1. Pp. 43-51.
9. Fedorenko V. F. et al. Development of FPV-system of technical vision for recognition and analysis of biological objects in horticulture based on convolutional neural networks. Technique and equipment for the village. 2025. No 3 (333). Pp. 2-6.
10. Vorobyova N. S., Zhoga V. V., Nesmiyanov I. A. Tracking by the manipulator drives of the parallel-sequential structure of the program movements of the working body. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2019. No 2. Pp. 154-165.
11. Nesmianov I. et al. Synthesis of control algorithm and computer simulation of robotic manipulator-tripod. Communications in Computer and Information Science. 2015. V. 535. Pp. 391-403.
12. Vorobyeva N. S., Zhoga V. V., Zhoga L. V. Dynamic Synthesis of Manipulator Control Algorithms for a Parallel-Sequential Structure. Mechatronics, Automation, Control. 2020. V. 21. No 12. Pp. 706-715.
13. Nesmiyanov I. A. et al. Control System for an Agricultural Robot Manipulator. Proceedings of the Nizhnevolzhskii Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2014. No 3 (35). Pp. 226-231.
14. Dyashkin-Titov V. V. et al. Dynamics of the manipulator parallel-serial structure. Advances in Mechanical Engineering: Lecture Notes in Mechanical Engineering. Cham: Springer, 2018. Pp. 33-43.

Информация об авторах

Токарев Кирилл Евгеньевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: tke.vgsha@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
Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mai: fsd_58@mail.ru
Захаров Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: zakharov_e_n@mail.ru
Наумов Александр Юрьевич, магистрант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26).

Authors' Information
Tokarev Kirill Evgenievich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: tke.vgsha@mail.ru
Vorob'eva Natalia Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: vgsxa@mail.ru
Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: fsd_58@mail.ru
Zakharov Yevgeny Nikolaevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: zakharov_e_n@mail.ru
Naumov Alexandr Yur'evich, Master's Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-69

THE RESEARCH ON THE CHARACTERISTICS OF THE STEAM-PLASMA BURNER STEAM PRESSURE CONTROL SYSTEM FOR THE AGRICULTURAL ENTERPRISES HEAT SUPPLY

Medvedev D. D., Grishchenko V. I.

Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author E-mail: 19medvedev97@mail.ru

Received 05.03.2026 Submitted 01.07.2026

Summary
The article presents the results of the development and experimental validation of a computer model of a water supply system for a steam plasma liquid fuel burner, including a pump, a steam plasma generator, and a nozzle. During modelling, the optimal parameters of the PI pressure regulator were determined. Experimental studies confirmed the ability of the developed system to maintain steam pressure with a given accuracy across the entire range of operating loads. The adequacy of the developed model was confirmed by comparing the calculated and experimental data. The proposed approach provides high-quality pressure stabilization, which contributes to improving the stability of the burner device and the energy efficiency of heating systems in general.

Abstract
Introduction. Improving the energy efficiency and environmental safety of heating systems in agricultural enterprises is a priority task. Steam plasma burners, whose efficiency directly depends on the stability of steam pressure, are a promising solution. Existing control systems based on standard PID controllers do not take into account the dynamic characteristics of the water supply pump, which limits the quality of steam pressure stabilization. **Research object.** The object of the study is an automated water supply system for a steam plasma liquid fuel burner, including a radial plunger pump, a steam plasma generator and a nozzle. The key task is to stabilize the steam pressure at the nozzle inlet to ensure high-quality fuel injection. **Materials and methods.** A computer model of the water supply system was developed in Matlab/Simulink, including a pumping unit, a distribution unit, a steam plasma generator model and a PI controller. To verify the adequacy of the model, an experimental stand was created with pressure and temperature sensors, a frequency converter, and a control system. Tests were conducted at pressures of 5-15 bar and injector nozzle diameters of 1.5-2.5 mm. **Results and conclusions.** Modelling determined the optimal coefficients of the PI controller (Kp = 20, Ki = 10), ensuring a transition to the operating mode in 5-19 seconds. It was experimentally confirmed that the system maintains pressure with an error of less than 4 % across the entire load range. At the maximum nozzle cross-section (2.5 mm) and a setpoint of 15 bar, the system operates in saturation mode, reaching a pressure of 13 bar at the maximum pump speed. A comparison of the simulation and experimental results showed a discrepancy of less than 4 %, confirming the adequacy of the developed model. The developed computer model allows for the effective design of automatic steam pressure control systems for steam plasma burners. The proposed approach ensures high-quality pressure stabilization, which contributes to the increased stability of burner operation and the energy efficiency of heat supply systems in agricultural enterprises.

Keywords: *agricultural enterprises heating supply, steam-plasma burners, automatic control systems, steam pressure stabilization, radial plunger pump, Matlab/Simulink.*

Citation. Medvedev D. D., Grishchenko V. I. The research on the characteristics of the steam-plasma burner steam pressure control system for the agricultural enterprises heat supply. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 626-635 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-69.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 621.651+519.876.5+631.371

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПАРА ПАРОПЛАЗМЕННОЙ ГОРЕЛКИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Медведев Д. Д., *соискатель*
Грищенко В. И., *кандидат технических наук, доцент*

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. Повышение энергоэффективности и экологической безопасности систем теплоснабжения сельскохозяйственных предприятий является приоритетной задачей. Перспективным решением выступают пароплазменные горелки, эффективность которых напрямую зависит от стабильности давления пара. Существующие системы регулирования на основе типовых ПИД-регуляторов не учитывают динамические характеристики насоса подачи воды, что ограничивает качество стабилизации давления пара. **Объект исследования.** Объектом исследования является автоматизированная система подачи воды пароплазменной жидкотопливной горелки, включающая радиально-плунжерный насос, пароплазменный генератор и форсунку. Ключевая задача – стабилизация давления пара на входе в форсунку для обеспечения качественного распыла топлива. **Материалы и методы.** В среде Matlab/Simulink разработана компьютерная модель системы подачи воды, включающая качающий узел, распределительный узел, модель пароплазменного генератора и ПИ-регулятор. Для проверки адекватности модели создан экспериментальный стенд с датчиками давления и температуры, частотным преобразователем и системой управления. Испытания проводились при давлениях 5-15 бар и диаметрах сопла форсунки 1,5-2,5 мм. **Результаты и выводы.** Моделированием определены оптимальные коэффициенты ПИ-регулятора (Kp = 20, Ki = 10), обеспечивающие выход на режим за 5-19 секунд. Экспериментально подтверждено, что система поддерживает давление с ошибкой менее 4 % во всем диапазоне нагрузок. При максимальном сечении сопла (2,5 мм) и уставке 15 бар система работает в режиме насыщения, достигая давления 13 бар на предельных оборотах насоса. Сравнение результатов моделирования и эксперимента показало расхождение менее 4 %, что подтверждает адекватность разработанной модели. Разработанная компьютерная модель позволяет эффективно проектировать системы автоматического регулирования давления пара для пароплазменных горелок. Предложенный подход обеспечивает высокое качество стабилизации давления, что способствует повышению устойчивости работы горелок и энергоэффективности систем теплоснабжения сельскохозяйственных предприятий.

Ключевые слова: *теплоснабжение сельскохозяйственных предприятий, пароплазменные горелки, системы автоматического регулирования, стабилизация давления пара, радиально-плунжерный насос, Matlab/Simulink.*

Цитирование. Медведев Д. Д., Грищенко В. И. Исследование характеристик системы регулирования давления пара пароплазменной горелки для теплоснабжения сельскохозяйственных предприятий. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 626-635. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-69.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Повышение энергоэффективности и экологической безопасности систем теплоснабжения сельскохозяйственных предприятий является одной из приоритетных задач развития агропромышленного комплекса [1-3]. Традиционные отопительные установки, основанные на сжигании жидких видов топлива, характеризуются высоким удельным расходом топлива, нестабильностью тепловых режимов и значительными выбросами загрязняющих веществ, что снижает их экономическую и экологическую эффективность [4, 5]. В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка и совершенствование альтернативных горелочных технологий, обеспечивающих интенсификацию процессов горения и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

Перспективным решением в данной области являются пароплазменные горелки, использование которых позволяет повысить полноту сгорания топлива, обеспечить устойчивые температурные режимы и расширить номенклатуру применяемых жидких топлив [6-9]. В отличие от традиционных жидкотопливных горелок с форсунками, откалиброванными по давлению на этапе изготовления, пароплазменные горелочные устройства предъявляют повышенные требования к точности и стабильности регулирования давления пара, участвующего в процессе распыла топлива. В этих условиях применение системы автоматического регулирования давления является рациональным и технически обоснованным решением.

Определяющую роль в работе пароплазменной горелки играет система подачи воды, формирующая поток пара с заданными параметрами. Стабильность давления в данном контуре непосредственно влияет на скорость истечения паровой струи из форсунки, качество диспергирования топлива и энергетические показатели отопительной установки в целом [10]. Для обеспечения требуемого давления воды в системе используется радиально-плунжерный насос, конструктивные и динамические особенности которого существенно влияют на характер протекания переходных процессов [11]. Поддержание заданного уровня давления воды и пара позволяет повысить коэффициент полезного действия установки и обеспечить устойчивость процесса горения [12, 13].

Существующие подходы к автоматическому регулированию давления в подобных системах, как правило, основаны на применении типовых ПИД-регуляторов, параметры которых часто подбираются эмпирически без учета динамических свойств конкретного насоса и нелинейности объекта управления. Такой подход ограничивает возможности повышения качества регулирования и не обеспечивает эффективной компенсации возмущений, возникающих при изменении режимов работы горелки.

В данной статье предложен подход к синтезу системы автоматического регулирования давления пара в пароплазменной горелке, основанный на разработке математической модели системы подачи воды. Построенная модель использована для аналитического расчёта коэффициентов регулятора с учетом динамических характеристик радиально-плунжерного насоса и исполнительных элементов системы. Адекватность математической модели и эффективность разработанной системы автоматического регулирования подтверждены результатами экспериментальных исследований, проведённых на специализированном стенде. Полученные результаты демонстрируют возможность повышения устойчивости и качества регулирования давления пара в системах теплоснабжения сельскохозяйственных предприятий.

Целью исследований является разработка компьютерной модели радиально-плунжерного насоса подачи воды и системы управления для определения оптимальных параметров регулятора, обеспечивающих стабилизацию давления пара в условиях, характерных для пароплазменной жидкотопливной горелки а, а также верификация и валидация полученной компьютерной модели на основе экспериментальных исследований, проводимых на специально разработанном стенде системы подачи воды.

Материалы и методы. Объектом исследования в этой работе является автоматизированная система подачи воды пароплазменного горелочного устройства, в основе которого лежит: радиально-плунжерный насос [11], пароплазменный генератор и форсунка.

В представленной системе вода от радиально-плунжерного насоса подается на пароплазменный генератор, преобразуется в пар и подается в форсунку. Схема организации потоков в форсунке пароплазменной горелке показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема организации потоков в форсунке пароплазменной горелке
Figure 1 – Flow pattern in a steam-plasma burner nozzle

Ключевым фактором, обеспечивающим эффективное распыление и стабилизацию факела горелки, является поддержание заданной скорости истечения пара, что, в свою очередь, требует стабилизации рабочего давления на входе в форсунку (P пара). Подача воды осуществляется радиально-плунжерным насосом в пароплазменный генератор, где она преобразуется в перегретый пар, который затем поступает в форсунку. За счет скоростного напора струи пара в форсунке происходит диспергация жидкого топлива.

Схема организации потоков в форсунке пароплазменной горелки (рисунок 1) предполагает ее рассмотрение как устройства, где по осевому каналу радиально-плунжерным насосом подается диспергирующий агент (перегретый пар) и формируется необходимое давление – P пара, а по радиальному каналу – топливо (P топлива). В зоне смешения на срезе форсунки происходит взаимодействие струй, приводящее к разрушению топливной пленки и образованию мелкодисперсного аэрозоля с давлением – P смеси.

Для анализа и проектирования системы подачи воды, обеспечивающей требуемые параметры пара на входе в форсунку, была разработана в программе Matlab/Simulink компьютерная модель (рисунок 2). Моделирование процессов, происходящих при работе реальных насосов осложняется нестационарностью потоков рабочей жидкости и нестабильностью реальных воздействий на систему. Для упрощения математической модели были приняты следующие допущения: характеристики рабочей жидкости (плотность, вязкость, коэффициент расхода и т. п.) постоянны во всех режимах работы насоса; коэффициенты расходов и объемный модуль упругости жидкости постоянны; трубопроводы и гидравлические каналы насоса абсолютно жесткие; потери давления ввиду коротких и избыточных по диаметру местных и линейных гидравлических сопротивлений не учитываются.

В таблице 1 представлены исходные данные модели системы подачи воды.

Таблица 1 – Исходные данные модели
Table 1 – Model input data

Наименование / Name	Значение / Value	Единица измерения / Unit of measurement	Описание / Description
Ddr	0,005-0,00001	м	Диаметр отверстия дросселя / Diameter of the throttle opening
n	0-570	об./мин. / revolutions/minute	Частота вращения вала насоса / Pump shaft rotation speed
Dkl	0,004	м	Диаметр каналов золотника / Spool channel diameter
Dpor	0,013	м	Диаметр плунжера / Plunger diameter
x	0,005	м	Ход плунжера / Plunger stroke
D_zol	0,03	м	Диаметр золотника / Spool diameter
E	2289	МПа	Модуль упругости жидкости / Fluid elasticity module
mu	0,47	сСт	Коэффициент динамической вязкости рабочей жидкости при 60 °C / Dynamic viscosity coefficient of the working fluid at 60 °C
ro	984	кг/м^3 / kg/m^3	Плотность рабочей жидкости при 60 °C / Density of the working fluid at 60 °C
MUedr	0,7	-	Коэффициент расхода эквивалентного дросселя / Equivalent throttle flow coefficient
MUkl	0,6	-	Коэффициент расхода канала золотника / Spool channel flow coefficient
W	0,024	м^3 / m^3	Объем трубки подачи пара / Steam supply tube volume
Patm	100000	Па	Атмосферное давление / Atmospheric pressure

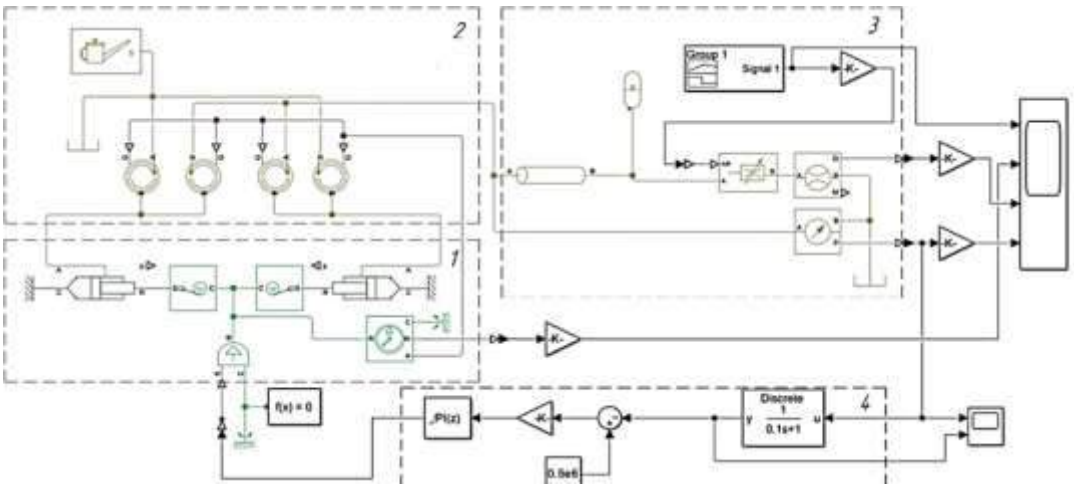


Рисунок 1 – Компьютерная модель системы подачи воды пароплазменной горелки
Figure 1 – Computer model of the water pump displacement system for a steam plasma burner

Представленная модель (рисунок 2) описывает систему подачи воды и включает четыре основных функциональных узла:

– Качающий узел насоса (1) представляет собой два гидравлических цилиндра одностороннего действия. Привод осуществляется от источника угловой скорости (имитация электродвигателя) через кривошипно-шатунный механизм, преобразующий вращательное движение вала в возвратно-поступательное движение поршней насоса.

– Оригинальный распределительный узел (2) (вращающийся золотник) насоса содержит четыре канала переменного сечения, попарно связывающие полости гидроцилиндров с линией всасывания (источник жидкости под атмосферным давлением) и линией нагнетания.

– Модель пароплазменного генератора (3) включает участок трубопровода и газонаполненный гидроаккумулятор, наполненный водой и паром, имитирующий пароперегреватель. Выходной поток регулируется дросселем переменного сечения, имитирующим сопло форсунки горелки.

– Система управления (4) реализована для стабилизации давления в системе, состоящая из фильтра низких частот, для подавления высокочастотных пульсаций давления, возникающих из-за прерывистого характера работы насоса, ПИ-регулятора и блока константы, задающего уставку давления.

С целью проверки точности компьютерной модели были проведены проверочные испытания на экспериментальном стенде системы подачи воды пароплазменной горелки (рисунок 4). Схема гидравлической системы подачи воды пароплазменной горелки представлена на рисунке 3.

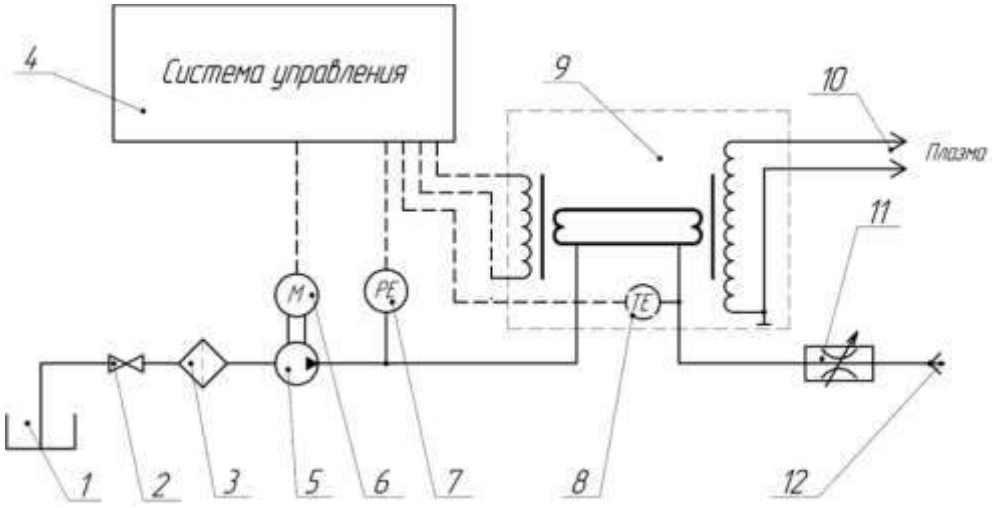


Рисунок 3 – Схема гидравлической системы пароплазменной жидкотопливной горелки.
1 – бак воды, 2 – кран подачи воды, 3 – фильтр, 4 – система управления, 5 – испытуемый насос, 6 – электродвигатель насоса, 7 – датчик давления воды, 8 – датчик температуры пара, 9 – пароплазменный генератор, 10 – выход плазмы, 11 – регулируемый дроссель, 12 – форсунка
Figure 3 – Diagram of the hydraulic system of the steam plasma liquid fuel burner. 1 – water tank, 2 – water supply tap, 3 – filter, 4 – control system, 5 – test pump, 6 – pump motor, 7 – water pressure sensor, 8 – steam temperature sensor, 9 – steam plasma generator, 10 – plasma outlet, 11 – adjustable restriction, 12 – nozzle

Радиально-плунжерный насос (5) обеспечивает забор воды из бака (1). Перед поступлением в насос вода проходит через кран (2) и фильтр (3). От насоса вода под давлением подается в пароплазменный генератор (9), в котором преобразуется в пар. Пар под давлением через регулируемый дроссель (11) поступает на форсунку (12). Режимы работы системы контролируются системой управления (4), которая обрабатывает информацию с датчика давления (7) и датчика температуры (8). На основании показаний датчиков система управления регулирует расход воды путем изменения частоты вращения вала насоса, а также осуществляет пуск и остановку пароплазменного генератора, тем самым обеспечивая требуемые параметры пара на выходе.

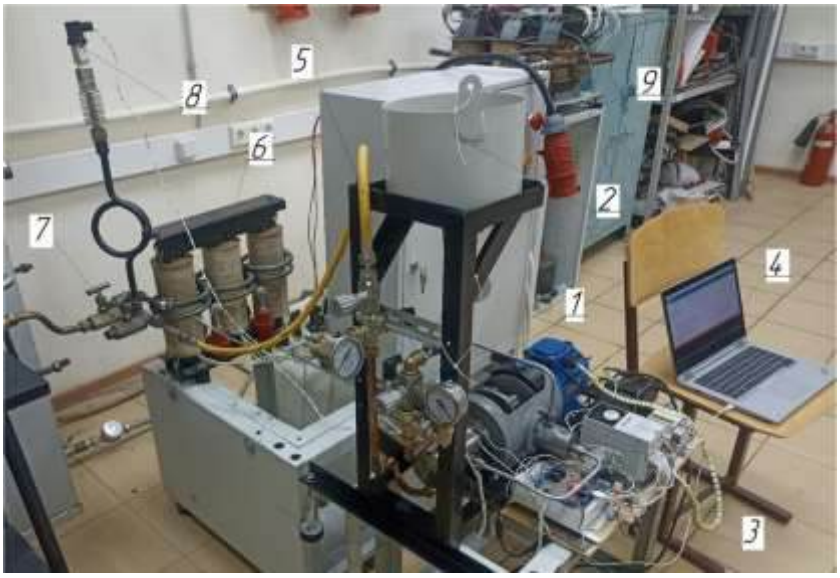


Рисунок 4 – Испытательный стенд насоса подачи воды пароплазменной жидкотопливной горелки. 1 – радиально-плунжерный насос подачи воды, 2 – бак с водой, 3 – система управления насосом подачи воды, 4 – ноутбук, 5 – трубопровод подачи воды, 6 – пароплазменный генератор, 7 – дроссель, 8 – датчика давления пара, 9 – система управления пароплазменным генератором
Figure 4 – A test bench of a steam plasma liquid fuel burner water supply pump. 1 – radial plunger water supply pump, 2 – water tank, 3 – water supply pump control system, 4 – laptop, 5 – water supply pipeline, 6 – steam plasma generator, 7 – restriction, 8 – steam pressure sensor, 9 – steam plasma generator control system

Испытательный стенд насоса подачи воды пароплазменной жидкотопливной горелки представляет собой насосную установку подачи воды, систему пароплазменного генератора, дроссель переменного сечения, предназначенный для имитации сопла форсунки горелки. Система управления насосом подачи воды считывает показания с датчика давления пара. Заданное значение давления (уставка) устанавливается с ноутбука, после чего ПИ-регулятор формирует управляющий сигнал, поступающий на частотный преобразователь для корректировки скорости вращения двигателя насоса. Испытания проводились при давлениях 5, 10 и 15 бар, имитирующие разные режимы работы горелки. И разных проходных сечениях сопла форсунки (1,5, 2, 2,5 мм), имитирующих разные типоразмеры горелок.

Результаты и обсуждение. *Компьютерное моделирование*.

В результате проведенных вычислений были получены зависимости производительности насоса от давления при разной частоте вращения (рисунок 5).

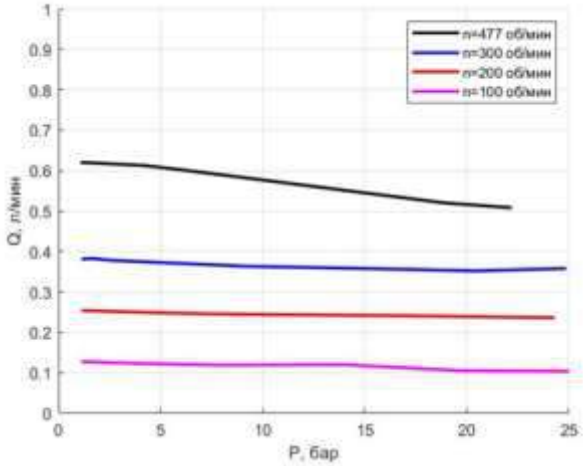


Рисунок 5 – Зависимости подачи от давления радиально-плунжерного насоса
Figure 5 – Dependence of pump displacement on the pressure of a radial plunger pump

На рисунке 5 показаны зависимости подачи от давления радиально-плунжерного насоса при фиксированных частотах вращения вала. В данном случае насос исследуется на частотах вращения 100, 200, 300 и 477 оборотов в минуту при избыточных давлениях от 0 до 23 бар. При частоте вращения 477 об./мин. производительность изменилась на 18 % при изменении давления от 0 до 23 бар. При меньших частотах вращения изменение производительности менее 10 % при том же диапазоне изменения давления пара. Высокая зависимость подачи воды от давления на выходе насоса объясняется повышающими внутренними перетечками в нем, при повышении давления. В связи с этим возникла необходимость разработки автоматизированной системы регулировки давления пара на основе ПИ-регулятора.

Натурный эксперимент.

Для оценки системы автоматического регулирования давления пара в пароплазменной горелке для систем отопления сельскохозяйственных предприятий компьютерной модели и экспериментальной модели задавались различные нагрузочные условия.

График сравнения компьютерного моделирования и эксперимента представлен на рисунке 6.

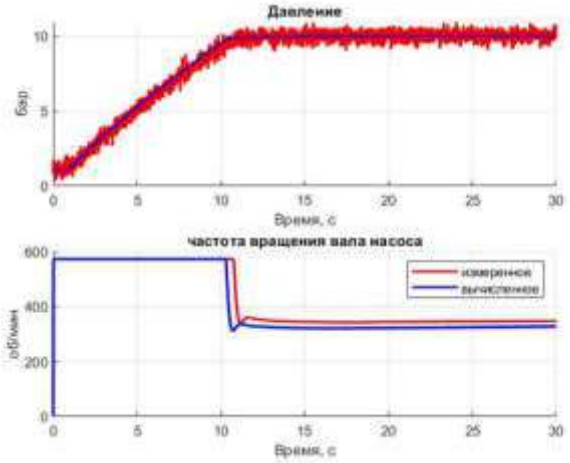


Рисунок 6 – Зависимости давления пара и частоты вращения вала насоса измеренных и вычисленных от времени

Figure 6 – The dependences of the steam pressure and the rotation speed of the pump shaft observed and calculated on time

Графики на рисунке 6 показывают, что при уставке давления 10 бар выход на установившийся режим происходит за 11 секунд. Кривые вычислительного эксперимента демонстрируют близкое соответствие с кривыми натурного эксперимента, разница менее 6 % по давлению и менее 8 % по частоте вращения. Эта разница объясняется тем, что в математической модели коэффициент расхода принят усредненным, однако должен учитывать характеристики рабочей жидкости, в состав которых входит динамическая вязкость рабочей жидкости.

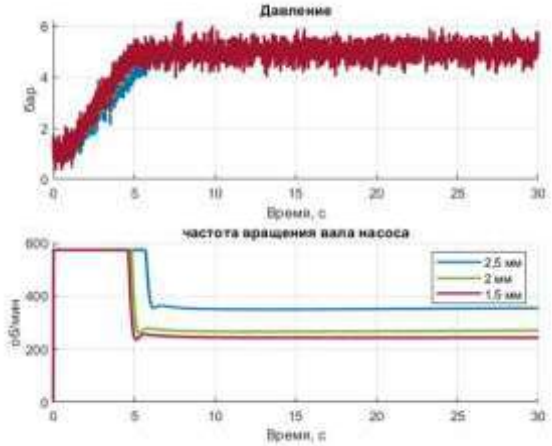


Рисунок 7 – Зависимости давления и частоты вращения вала насоса от времени при разном проходном сечении сопла форсунки при уставке давления 5 бар

Figure 7 – The dependence of the pressure and speed of rotation of the pump shaft on time at different flow sections of the injector nozzle at a pressure setpoint of 5 bar

На рисунках 7-9 представлены зависимости давления и частоты вращения вала насоса от времени при разном проходном сечении сопла форсунки и различных уставках давления.

На рисунке 7 показаны зависимости давления пара на форсунку и частоты вращения вала насоса от времени при разном сечении нагрузочного дросселя, имитирующего сопло форсунки.

Как видно из графика выход на установившийся режим давления 5 бар осуществляется за 5 секунд для диаметра проходного сечения сопла форсунки 1,5 мм, 5,5 для диаметра 2 мм и 6,5 секунд для 2,5 мм, давление поддерживается на уровне уставки в 5 бар с отклонением менее 4 %.

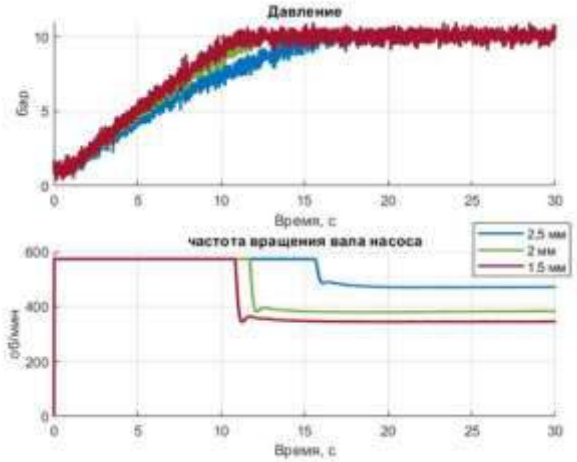


Рисунок 8 – Зависимости давления и частоты вращения вала насоса от времени при разном проходном сечении сопла форсунки при уставке давления 10 бар

Figure 8 – The dependence of the pressure and speed of rotation of the pump shaft on time at different flow sections of the injector nozzle at a pressure setpoint of 10 bar

На рисунке 8 выход на установившийся режим давления 10 бар осуществляется за 11 секунд для диаметра проходного сечения сопла форсунки 1,5 мм, 12 секунд для 2 мм и 16,5 секунд для 2,5 мм, давление поддерживается на уровне уставки в 10 бар с отклонением менее 4 %.

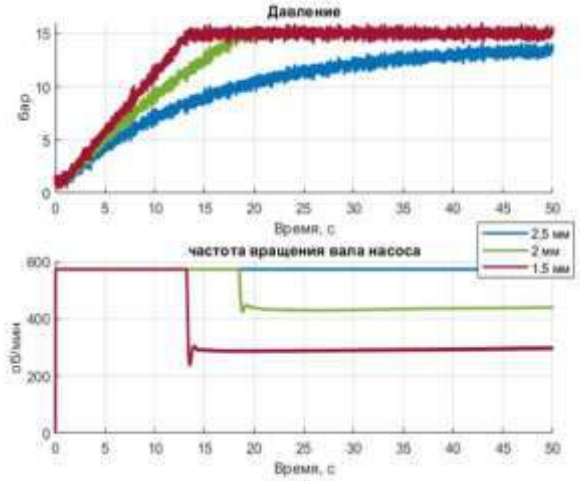


Рисунок 9 – Зависимости давления и частоты вращения вала насоса от времени при разном проходном сечении сопла форсунки при уставке давления 15 бар

Figure 9 – The dependence of the pressure and speed of rotation of the pump shaft on time at different flow sections of the injector nozzle at a pressure setpoint of 15 bar

На рисунке 9 при уставке давления 15 бар, выход на установившийся режим осуществляется за 14 секунд для диаметра проходного сечения сопла форсунки 1,5 мм, 19 секунд для диаметра 2 мм. Кривые переходного процесса носят апериодический харак-

тер, ошибка регулирования < 4 %. При диаметре сопла форсунки 2,5 мм система регулирования находилась в режиме насыщения управляющего воздействия, насос вращался на максимальных возможных оборотах 570 об/мин, при этом давление достигло 13 бар.

Заключение. В результате проведённых исследований разработаны компьютерная модель радиально-плунжерного насоса подачи воды и система управления, обеспечивающие анализ динамических характеристик и оценку устойчивости узла подачи воды пароплазменной жидкотопливной горелки. По результатам моделирования определены оптимальные коэффициенты ПИ-регулятора (коэффициент пропорционального звена Kp = 20, коэффициент интегрального звена Ki = 10), обеспечивающие выход системы на установившийся режим за 5-19 с в диапазоне давлений 5-15 бар при диаметрах сопла форсунки 1,5-2,5 мм, при этом ошибка регулирования давления составляет менее 4 %. Разработан и изготовлен испытательный стенд системы подачи воды, экспериментальные исследования на котором показали согласование результатов моделирования и эксперимента с точностью до 4 %, что подтверждает адекватность модели и эффективность предложенного подхода к стабилизации давления пара в пароплазменных жидкотопливных горелках.

Conclusions. As a result of the research conducted, a computer model of a radial plunger water supply pump and a control system have been developed, enabling analysis of the dynamic characteristics and assessment of the stability of the water supply unit of a steam plasma liquid fuel burner. Based on the simulation results, the optimal coefficients of the PI controller were determined (proportional coefficient Kp = 20, integral coefficient Ki = 10), ensuring that the system reaches a steady state within 5-19 seconds in the pressure range of 5-15 bar with nozzle diameters of 1.5-2.5 mm, with a pressure control error of less than 4 %. A test bench for the water supply system has been developed and manufactured. Experimental studies conducted on this bench have shown that the results of modelling and experimentation match with an accuracy of 4 %, confirming the adequacy of the model and the effectiveness of the proposed approach to stabilizing steam pressure in steam-plasma liquid fuel burners.

Библиографический список

1. Нестеров Г. Д., Нестерова Н. С. Выбор и исследование рационального метода контроля пламени в топках теплоагрегатов сельскохозяйственных предприятий. АгроЭкоИнфо. 2019. № 1. С. 24-24.

2. Karpov D. F. et al. Parametric analysis of a radiant gas heating system for controlled-environment agriculture with preheated ventilation. E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2024. V. 511. Art. 01010.

3. Андреев С. А. Электротехнологические приемы энергоресурсосбережения в системах автономного теплообеспечения объектов АПК. 2020.

4. Yunli G. et al. Statistical analysis of fuel combustion and emissions considering the adverse effects of investment economic environment: Exploring alternatives amid oil prices Swings, digital economy, and local market inflation. Heliyon. 2024. V. 10. No 18. Art. e37207.

5. Osman A. I. et al. Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: the review. Environmental chemistry letters. 2023. V. 21. No 2. Pp. 741-764.

6. Копьев Е. П. и др. Исследование параметров горения жидкого углеводородного топлива при его распылении перегретым водяным паром, углекислым газом и их смесью. Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2023. № 4 (61). С. 45-57.

7. Bolegenova S. et al. The use of plasma technologies to optimize fuel combustion processes and reduce emissions of harmful substances. Energy. 2023. V. 277. Art. 127635.

8. Nagar V., Kaushal R. The review of recent advancement in plasma gasification: the promising solution for waste management and energy production. International Journal of Hydrogen Energy. 2024. V. 77. Pp. 405-419.

9. Лобачевский Я. П. и др. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства. Техника и оборудование для села. 2023. Т. 4. № 310. С. 2-5.

10. Медведев Д. Д. и др. Математическое моделирование гидравлического плунжерного насоса малого расхода. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 12. С. 335-342.

11. Beskopylny A. N. et al. Development of a Small-Working-Volume Plunger Hydraulic Pump with Improved Performance Characteristics. Actuators. MDPI, 2025. V. 14. No 1. Art. 34.

12. Мингазов Б. Г., Мухаметгалиев Т. Х. Исследование механизма стабилизации пламени в неоднородных по фазе топливовоздушных смесях. Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2020. № 1. С. 93-96.

13. Романова М. Н. и др. Определение гидродинамических характеристик однородных и двух несмешивающихся жидкостей. Инженерный вестник Дона. 2019. № 2 (53). С. 66.

References

1. Nesterov G. D., Nesterova N. S. Selection and research of a rational method for flame control in furnaces of agricultural enterprises' heating units. AgroEcoInfo. 2019. No 1. Pp. 24-24.

2. Karpov D. F. et al. Parametric analysis of a radiant gas heating system for controlled-environment agriculture with preheated ventilation. E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2024. V. 511. Art. 01010.

3. Andreev S. A. Electrical engineering methods of energy conservation in autonomous heating systems for agricultural facilities. 2020.

4. Yunli G. et al. Statistical analysis of fuel combustion and emissions considering the adverse effects of investment economic environment: Exploring alternatives amid oil prices Swings, digital economy, and local market inflation. Heliyon. 2024. V. 10. No 18. Art. e37207.

5. Osman A. I. et al. Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: the review. Environmental chemistry letters. 2023. V. 21. No 2. Pp. 741-764.
6. Kopiev E. P. et al. Study of the combustion parameters of liquid hydrocarbon fuel when sprayed with superheated water steam, carbon dioxide and their mixture. Reports of the Academy of Sciences of Higher Education of the Russian Federation. 2023. No 4 (61). Pp. 45-57.
7. Bolegenova S. et al. The use of plasma technologies to optimize fuel combustion processes and reduce emissions of harmful substances. Energy. 2023. V. 277. Art. 127635.
8. Nagar V., Kaushal R. The review of recent advancement in plasma gasification: the promising solution for waste management and energy production. International Journal of Hydrogen Energy. 2024. V. 77. Pp. 405-419.
9. Lobachevsky Y. P. et al. Scientific and technical achievements of agricultural engineering research organisations in the context of the digital transformation of agriculture. Technology and Equipment for Villages. 2023. V. 4. No 310. Pp. 2-5.
10. Medvedev D. D. et al. Mathematical modelling of a low-flow hydraulic plunger pump. News of Tula State University. Technical Sciences. 2023. No 12. Pp. 335-342.
11. Beskopylny A. N. et al. Development of a Small-Working-Volume Plunger Hydraulic Pump with Improved Performance Characteristics. Actuators. MDPI, 2025. V. 14. No 1. Art. 34.
12. Mingazov B. G., Mukhametgaliev T. Kh. Investigation of the flame stabilisation mechanism in phase-heterogeneous fuel-air mixtures. News of Higher Educational Institutions. Aviation Technology. 2020. No 1. Pp. 93-96.
13. Romanova M. N. et al. Determination of the hydrodynamic characteristics of homogeneous and two immiscible liquids. Engineering Bulletin of the Don. 2019. No 2 (53). P. 66.

Информация об авторах
Медведев Денис Дмитриевич, инженер, преподаватель, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 5387-3976; AuthorID: 1112370; Scopus: 58030363200, ORCID 0000-0003-3047-711X, e-mail:19medvedev97@mail.ru
Грищенко Вячеслав Игоревич, заведующий кафедрой, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 1839-5387; AuthorID: 544150; Scopus: 57197824580, ORCID 0000-0003-1422-2811, e-mail:vig84@yandex.ru
Authors' Information
Medvedev Denis Dmitrievich, Engineer, Teacher, Don State Technical University (Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), SPIN- code of the author: 5387-3976; AuthorID: 1112370; Scopus: 58030363200, ORCID 0000-0003-3047-711X, e-mail:19medvedev97@mail.ru
Grishchenko Vyacheslav Igorevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Don State Technical University (Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), SPIN-code of the author: 1839-5387; AuthorID: 544150; Scopus: 57197824580, ORCID 0000-0003-1422-2811, e-mail:vig84@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-70

THE LABORATORY SETUP FOR STUDYING THE PROCESSES OF THE LIQUID FOOD PRODUCTS VACUUM COOLING

Shein S. E., Korotkiy I. A., Raschepkin A. N., Tyunin A. D.

Kemerovo State University
Kemerovo, Russian Federation

Corresponding author E-mail: krot69@mail.ru

Received 25.03.2026 Submitted 01.07.2026

Summary
The article presents the results of designing a laboratory setup for studying the vacuum boiling of liquids, as well as the experimental procedure involving data acquisition from pressure and temperature sensors during the experiment.

Abstract
Introduction. The objective of this work is the development and implementation of a laboratory setup designed to study the processes of vacuum cooling of liquid food products, as well as the selection of a suitable vacuum pump for investigating vacuum boiling and vacuum cooling of liquids under laboratory conditions. Additionally, the study addresses the acquisition of accurate digital data from temperature and pressure sensors for further processing and analysis. **Methods.** A series of calculations were performed to evaluate the process of vapor extraction under different equipment operation modes, with the goal of establishing conditions for evaporative cooling of liquids. During the vacuuming of a sealed vessel containing a liquid food product, the pressure above the liquid surface and the temperature of the liquid itself were measured. This enabled the construction of graphical dependencies of temperature decrease over time. Transparent observation windows allow for visual monitoring of the vacuum boiling process throughout the experiment. **Results.** Based on the calculations, key criteria were identified for selecting equipment suitable for studying vacuum cooling and boiling processes under laboratory conditions. An experimental plan and a calculation procedure were developed to determine the relationship between saturation temperature and pressure, as well as the cooling rate achieved through vacuum boiling. In addition, a software algorithm was created for recording and processing data obtained from temperature and pressure sensors.

Keywords: *vacuum cooling of liquids, vacuum boiling of liquids, liquid food products, cooling of liquid food products.*

Citation. Shein S. E., Korotkiy I. A., Raschepkin A. N., Tyunin A. D. The laboratory setup for studying the processes of the liquid food products vacuum cooling. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 635-642 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-70.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
Authors' contributions. All authors contributed equally to the planning, execution, and analysis of the study. All authors have read and approved the final version of the manuscript.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 637.133.1.1+621.564

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Шеин С. Е., *аспирант*
Короткий И. А., *доктор технических наук, профессор*
Расщепкин А. Н., *доктор технических наук, профессор*
Тюнин А. Д., *ведущий инженер*

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
г. Кемерово, Российская Федерация

Аннотация. Проблема и цель. Целью данной работы является создание и использование лабораторной установки для изучения процессов вакуумного охлаждения жидких пищевых продуктов и подбор вакуумного насоса для исследования вакуумного кипения и вакуумного охлаждения жидкостей в лабораторных условиях. Также стоит вопрос о получении достоверных данных о физических величинах с датчиков температуры и давления в электронном виде для дальнейшей обработки результатов. **Методология.** Проведён расчёт, позволяющий оценить процесс откачки паров жидкости при различных режимах работы оборудования с целью создания условий для испарительного охлаждения жидкостей. В процессе вакуумирования герметичного сосуда с жидким пищевым продуктом измеряются давление на свободной поверхности жидкости и температура самой жидкости, что позволяет построить график зависимости снижения температуры от времени. Прозрачные смотровые стёкла позволяют наблюдать за процессом вакуумного кипения на протяжении всего эксперимента. **Результаты.** В результате расчётов были сформированы основные критерии, по которым выбирается оборудование для исследования данного процесса в лабораторных условиях. Представлен план эксперимента и расчёта для определения зависимости температуры насыщения от давления и скорости охлаждения за счет вакуумного кипения жидкости. Разработан программный код для сбора и обработки показаний с датчиков температуры и давления.

Ключевые слова: *вакуумное охлаждение жидкостей, вакуумное кипение жидкостей, жидкие пищевые продукты, охлаждение жидких пищевых продуктов.*

Цитирование. Шеин С. Е., Короткий И. А., Расщепкин А. Н., Тюнин А. Д. Лабораторная установка для исследования процессов вакуумного охлаждения жидких пищевых продуктов. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 635-642. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-70.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала *Известия НВ АУК* выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Охлаждение необходимо практически на каждом производстве по переработке продуктов питания. Наращивая темпы производства, а вместе с тем и объёмы выпускаемой продукции, встаёт вопрос о сохранении пригодности в употреблении этого продукта с течением времени и о сохранении пищевой ценности в процессе обработки. Консервация охлаждением используется повсеместно – в мясной, молочной, кондитерской и многих других отраслях пищевой промышленности. На сегодняшний день исследования и технологии в данной области направлены в основном на интенсификацию процесса охлаждения. Вакуумное охлаждение имеет большой потенциал, так как практически все пищевые продукты содержат в себе влагу, а она как раз и является основным рабочим звеном в процессе отвода теплоты из продукта при вакуумном охлаждении [1, 2].

Низкотемпературная обработка продуктов агропромышленного комплекса является основой как для надёжного и безопасного хранения продуктов питания, так и для реализации технологических процессов обработки сырья. Понижение температуры продукта позволяет значительно продлить срок хранения, а усовершенствование и внедрение новых

элементов в такой многогранный, но хорошо изученный процесс позволяет максимально сохранить качество продукта как в органолептическом плане, так и с точки зрения пищевой ценности [3]. Оптимизация отвода тепла также имеет экономический эффект, так как процесс энергозатратный, и снижение стоимости технологического процесса путём внедрения новых и улучшения старых элементов технологической схемы скажется на конечной цене для потребителя [4-6].

Процесс кипения раствора при понижении давления за счёт снижения температуры кипения представляет собой ключевое явление, активно используемое в промышленности, которое позволяет эффективно устранять влагу, снижать температуру и дегазировать разнообразные продукты. Это особенно важно в пищевой отрасли, где метод применяется для увеличения срока хранения продукции и сохранения качества исходных веществ [7, 8]. Уменьшение температуры кипения жидкости предотвращает термическое повреждение, сохраняя питательные вещества и вкусовые качества. Благодаря фазовому переходу продукт переходит из жидкого состояния в газообразное, охлаждая продукцию за счёт энергии фазового перехода [9].

Материалы и методы. Для исследования процессов, происходящих в жидких пищевых продуктах под воздействием разряжения над свободной поверхностью, изготовили лабораторных стенд, представляющий собой герметичную теплоизолированную камеру с подключением датчиков температуры и давления и возможностью визуального контроля процесса охлаждения за счёт фазового перехода жидкость-газ (рисунок 1, 2).



Рисунок 1 – Лабораторная установка
Figure 1 – Laboratory installation

Лабораторный стенд состоит из рабочего цилиндра, боковая поверхность которого выполнена из медной трубы длиной 180 мм и внутренним диаметром 76 мм с толщиной стенки 1,5 мм. Медь как материал для камеры была выбрана вследствие простоты механической обработки и внедрения в конструкцию герметичных штуцеров при помощи пайки твёрдым припоем для подсоединения датчиков температуры и давления. После установки всех необходимых соединений заготовка была покрыта термореактивной порошковой краской Technopulver на основе полиэфирной смолы методом электростатического напыления для корректного контакта с пищевым продуктом и простоты обработки поверхности. Для визуального контроля за процессом воздействия вакуума на продукт на торцевых поверхностях рабочего цилиндра были установлены герметичные смотровые стёкла толщиной 3 мм с прокладками из вакуумной резины (рисунок 2). Для снятия показаний температуры был использован датчик на основе микросхемы DS18B20 с протоколом передачи показаний 1-Wire в диапазоне от -55 до 125 °С с точностью 0,5 °С. Контроль давления производили с помощью датчика, выдающего сигнал по напряжению (0,5-4,5 В) в диапазоне от 0 до 3 атмосфер (в абсолютных величинах) с точностью до 3-го знака после запятой. Герметичность температурного датчика обеспечивается с помощью развальцованной медной трубки

с заливкой провода датчика смесью эпоксидной смолы и пищевой соды в соотношении 60/40. Сам датчик (микросхема DS18B20) находится внутри камеры в контакте с исследуемым продуктом через заводскую стальную гильзу. Герметичность датчика давления обеспечивается с помощью прокладки из вакуумной резины и резьбового соединения. Также в установке имеется штуцер для налива (сверху) и слива (снизу) продукта. Сверху находится штуцер для подсоединения вакуумного насоса. Камера оклеена теплоизоляцией k-flex толщиной 13 мм для уменьшения теплового воздействия извне.

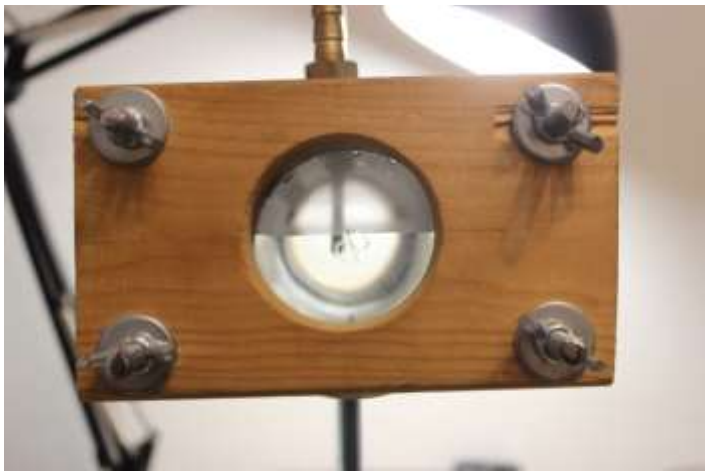


Рисунок 2 – Смотровое стекло
Figure 2 – Sight glass

Для создания и поддержания пониженного давления в камере с продуктом используется вакуумный насос роторного типа с газобалластным клапаном. В первых экспериментах в качестве вакуумного насоса использовался ротационный компрессор с катящимся ротором HITACHI 603DH-90C2Y, но данный компрессор обеспечивал остаточное давление в камере порядка 7 кПа. Рабочий цилиндр подключается к вакуумному насосу через промежуточную герметичную камеру с системой охлаждения, представляющую собой одноступенчатую холодильную машину на фреоне R-134a. Данная промежуточная камера используется в качестве ловушки для паров испарившейся из продукта жидкости с целью предотвращения попадания паров воды в полость сжатия вакуумного насоса. Наличие контура охлаждения позволяет эффективно удалить большую часть влаги, так как она конденсируется или, в зависимости от температурного уровня, установленного контуром охлаждения, вымерзает на теплообменной поверхности. На начальном, наиболее нагруженном в тепловом и влагогенерирующем отношении режиме, на вакуумном насосе предусмотрен газобалластный клапан, позволяющий сместить точку конденсации путем подмешивания воздуха извне, что даёт возможность предотвратить конденсацию паров в масле вакуумного насоса [10].

Для определения зависимости температуры насыщения от давления используют дифференциальное уравнение Клапейрона-Клаузиуса, вытекающее из первого начала термодинамики, но для практического применения удобнее использовать эмпирическое уравнение Антуана. Формула Антуана была подобрана опытным путем (в 1888 году) как одна из самых простых, дающих отличное соответствие экспериментальным данным по давлению пара. Она содержит три подгоночных параметра (A, B, C), что достаточно для гибкости, но не приводит к чрезмерному усложнению. Используя уравнение Антуана и экспериментально полученные точки, можно определить коэффициенты Антуана и построить графическую зависимость температуры насыщения от давления для молока [11-14]. Уравнение Антуана выглядит следующим образом:

$$\lg P = A - \frac{B}{C+T}, \quad (1)$$

где: A, B, C – эмпирические коэффициенты (подбираются по экспериментальным данным); T – температура [К]; P – давление [Па].

Зная коэффициенты A, B и C, можно определить равновесную температуру или давление при вакуумном кипении:

$$T = \frac{B}{A - \lg P} - C\ , \quad (2)$$

$$P = 10^{\left(A - \frac{B}{C+T}\right)}\ , \quad (3)$$

Автоматизируя подсчёт методом наименьших квадратов в Exel, поставляем экспериментальные данные и получаем коэффициенты Антуана. Далее по полученной формуле можем построить графическую зависимость температуры насыщения от давления (график 2).

Обсуждение. Для создания в камере лабораторной установки необходимого разрежения необходимо использовать вакуумный насос. Так как специфика эксперимента заключается в интенсивном испарении жидкости, пары влаги будут попадать в камеру сжатия вакуумного насоса, что для масляных роторных насосов может привести к ухудшению смазывающих свойств масла и выходу насоса из строя. С этой целью между вакуумным насосом и герметичной камерой с исследуемым продуктом внедряется так называемая ловушка для паров воды. Эта ловушка представляет собой герметичную камеру с фреоновым теплообменником, на поверхности которого в процессе эксперимента будут намораживаться пары влаги, что предотвратит их попадание в вакуумный насос.

Также необходимо определить рабочие характеристики вакуумного насоса для обеспечения достаточного удаления влаги от охлаждаемого продукта и поддержания заданного давления в камере. Производительность вакуумного насоса и создаваемое давление в камере имеют нелинейную зависимость и предоставляются производителем оборудования.

Предположим, что у нас камера наполнена на 2/3 от всего объёма, что составляет примерно 0,5 л или 0,0005 м^3. Начальная температура жидкости 80 °C. Конечная температура 8 °C.

Давление, необходимое для кипения воды при 8 °C составляет примерно 1072 Па или 0,012 бар.

Используя формулы (4) и (5), определим количество влаги, необходимое для охлаждения жидкости массой 1 кг на 1 °C только за счёт испарения.

$$Q_{\text{кип}} = L \cdot \Delta m\ \ [\text{Дж}]\ , \quad (4)$$

$$Q_{\text{охл}} = C_{\text{м}} \cdot m \cdot \Delta T\ [\text{Дж}]\ , \quad (5)$$

где: L – удельная теплота парообразования = 2483000 [Дж/кг]; ∆m – количество испарившейся жидкости [кг]; c – удельная теплоёмкость = 4180 [Дж/(кг·К)]; m – масса продукта = 0,5 [кг]; ∆T – разность начальной и конечной температур = 72 [К].

Так как в процессе охлаждения неизменно будет разность температур между сосудом и окружающей средой, необходимо учесть данные тепловые потоки (6).

$$Q_{\text{внеш}} = Q_{\text{охл кам}} + Q_{\text{тс}}\ , \quad (6)$$

$$Q_{\text{охл кам}} = \text{c} \cdot m \cdot \Delta T_{\text{среды}} = 385 * 0{,}75 * 12 = 3465\ [\text{Дж}]\ , \quad (6.1)$$

$$Q_{\text{тс}} = \frac{\pi l}{\sum \frac{1}{2\lambda} ln \frac{r_2}{r_1}} \Delta T_{\text{среды}} = \frac{3{,}14 * 0{,}18}{\frac{1}{2*401} ln \frac{0{,}038}{0{,}036} + \frac{1}{2*0{,}035} ln \frac{0{,}051}{0{,}038}} * 12 = 2\ [\text{Дж}]\ , \quad (6.2)$$

где: $Q_{\text{охл кам}}$ – теплота необходимая для охлаждения камеры с комнатной температуры (25 °C) до конечной температуры охлаждения; $Q_{\text{тс}}$ – теплота необходимая для компенсации теплообмена с внешним воздухом (25 °C) через теплоизоляцию; c – удельная теплоёмкость медной камеры = 385 [Дж/(кг·К)]; m – масса медной ёмкости = 0,75 [кг]; $\Delta T_{\text{среды}}$ – разность начальной и конечной температур, = 12 [К]; l-длинна заготовки [м]; λ-коэффициент теплопроводности [Вт/(м·К)]; r-радиус цилиндрической стенки [м].

Таким образом мы видим, что внешние теплопритоки и теплообмен с камерой незначительны и мало повлияют на результат расчёта.

Приравнивая формулу (4) к сумме (5) и (6) и выражая ∆m, получаем формулу (7).

$$\Delta m = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T + Q_{\text{внеш}}}{L}\ , \quad (7)$$

Подставляем значения в формулу (7):

$$\Delta m = \frac{4180 \cdot 0{,}5 \cdot 72 + 3465 + 2}{2483000} = 0{,}062\ [\text{кг}] = 62\ [\text{г}]\ . \quad (8)$$

Таким образом, в процессе всего эксперимента нам нужно испарить примерно 62 г воды для охлаждения 500 г воды с 80 до 8 °С.

Для расчёта примем минимальную плотность водяного пара в эксперименте. При температуре 8 °С плотность водяного пара составляет 0,0083 [кг/м^3], таким образом, нам нужно откачать примерно 8,1 м^3 водяного пара на протяжении всего процесса. От производительности вакуумного насоса будет зависеть длительность процесса охлаждения. Для наглядности представим графическую зависимость объёмной производительности насоса от времени, необходимого для проведения всего процесса охлаждения (рисунок 3).

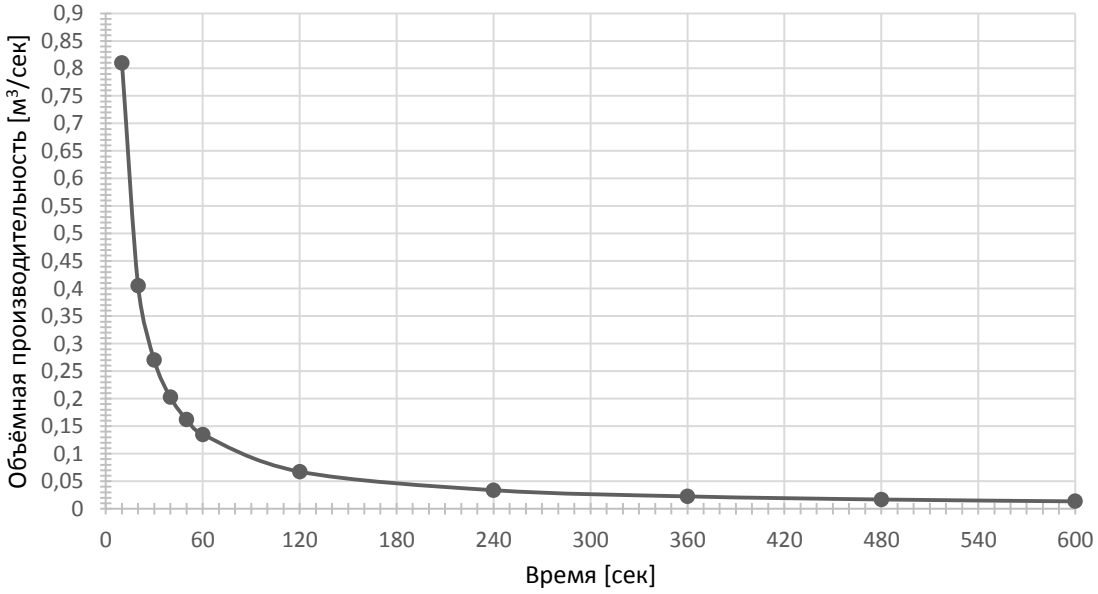


Рисунок 3 – Зависимость объёмной производительности насоса от времени необходимого для проведения всего процесса охлаждения
Figure 3 – Dependence of the pump's volumetric capacity on the time required for the entire cooling process

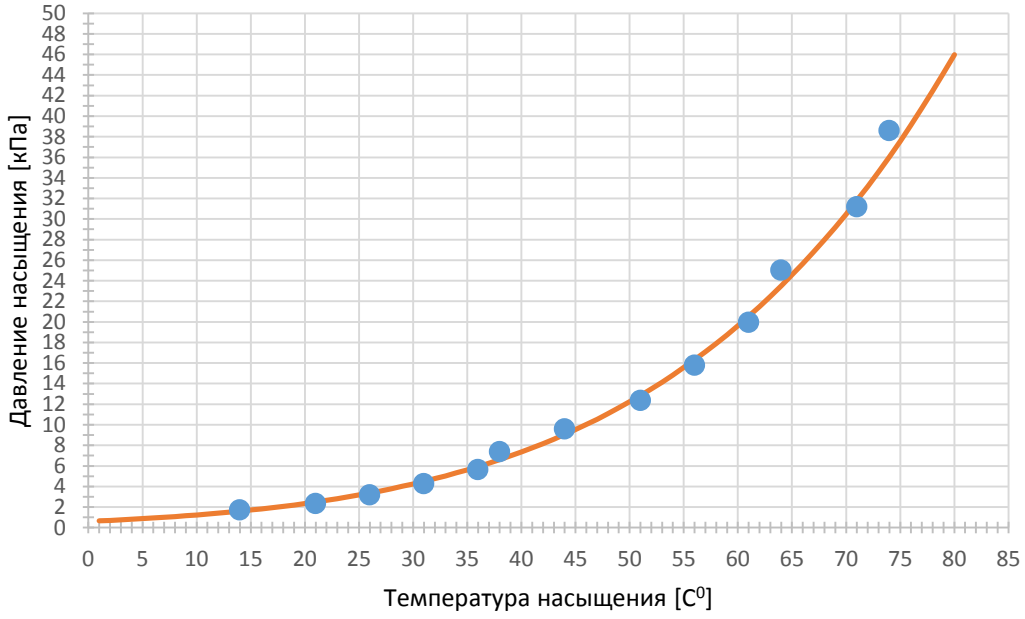


Рисунок 4 – Экспериментально полученная зависимость температуры насыщения воды от давления
Figure 4 – Experimental dependence of water saturation temperature on pressure

Используя уравнение Антуана и реперные точки, полученные в результате эксперимента, построим зависимость температуры насыщения от абсолютного давления (рисунок 4). Коэффициенты Антуана получены методом наименьших квадратов (A = 6,879, B = 1576,18, C = 222,122).

Заключение. Данная лабораторная установка позволяет как визуально, так и численно наблюдать за процессом вакуумного воздействия на жидкие пищевые продукты, снимать и интерпретировать показания с датчиков давления и температуры, которые можно использовать как при расчёте и внедрении новых процессов в технологические схемы обработки пищевых продуктов, так и в образовательно-показательных целях для более глубокого понимания процесса кипения при пониженном давлении. Применение насоса низкого вакуума не позволяет достичь необходимых давлений, но позволяет быстро откачать основной объём камеры вымораживания влаги. Использование же вакуумного насоса высокой производительности даёт возможность наблюдать за кипением жидкости при температурах значительно более низких, чем при использовании низкопроизводительного насоса. Снятие показаний с датчиков в реальном времени и визуальный контроль за исследуемой средой позволяют обнаружить и устранить утечки в герметичной камере, а также получить в электронном виде данные для последующей машинной обработки.

Conclusion. The developed laboratory installation enables both visual and quantitative observation of the effects of vacuum conditions on liquid food products. It allows recording and interpreting readings from pressure and temperature sensors, which can be applied not only in the design and implementation of new technological processes for food product treatment but also for educational and demonstrative purposes, providing a deeper understanding of the boiling process under reduced pressure.

The use of a low-vacuum pump does not make it possible to achieve the necessary pressure levels; however, it allows for rapid evacuation of the main volume of the chamber during moisture sublimation. In contrast, employing a high-performance vacuum pump enables observation of liquid boiling at significantly lower temperatures compared to a low-capacity pump.

Real-time data acquisition from sensors and visual monitoring of the experimental medium make it possible to detect and eliminate leaks in the sealed chamber, as well as to obtain electronic datasets suitable for subsequent computational processing and analysis.

Библиографический список

1. Короткий И. А., Расщепкин Ф. Н., Шеин С. Е. Перспективы применения вакуумного охлаждения при первичной переработке и транспортировке молока. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15. № 3. С. 110-115.

2. Короткий И. А., Короткая Е. В., Мальцева О. М. Разделительное вымораживание при переработке обезжиренного молока. Вестник КрасГАУ. 2015. № 10 (109). С. 115-121.

3. Zhang Z., Sun D.-W. Effects of cooling methods on the quality and safety of cooked rice. Journal of Food Engineering. 2006. No 77 (2). Pp. 269-275.

4. Короткий И. А., Короткая Е. В., Курбанова М. Г. Эффективность производства искусственного холодав разделительных вымораживающих установках. Техника и технология пищевых производств. 2016. № 4 (43). С. 116-122.

5. Неверов Е. Н. и др. Энергоснабжение, технологические машины и оборудование агропромышленного комплекса: монография. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. 168 с.

6. Мадолинский М. А. Метод вакуумного охлаждения. Инновационные технологии и образование. 2021. С. 206-208.

7. Гончаров А. В., Шумаев И. В. Охлаждение молока бесфреоновым охладителем при доении коров на пастбищах. 2023.

8. Короткий И. А., Федоров Д. Е., Тризно Н. А. Исследование работы емкостного кристаллизатора для разделительного вымораживания жидких пищевых продуктов. Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4 (27). С. 106-110.

9. Попов Д. М. Теплоотдача при кипении растворов жидкостей. ТОХТ. 2002. Т. 36. № 5. С. 461.

10. Хамхоев Б. М. и др. Теоретические основы высокого вакуума и процесс получения предельного вакуума в заданном объеме. Рефлексия. 2020. № 5. С. 3-6.

11. Филиппов В. В., Измайлов В. Д. Процессы и аппараты химической технологии: справочник. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2021. 54 с.

12. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: справочное пособие. Л.: Химия, 1982. 592 с.

13. Несис Е. И. Кипение жидкостей. М.: Наука, 1973. 280 с.

14. Wang L., Sun, D.-W. Recent developments in numerical modelling of heating and cooling processes in the food industry – the review. Trends in Food Science & Technology. 2001. No 12 (11). Pp. 408-423.

References

1. Korotkiy I. A., Rasshchepkin F. N., Shein S. E. Prospects for the Use of Vacuum Cooling in the Primary Processing and Transportation of Milk. Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University. 2023. V. 15. No 3. Pp. 110-115.

2. Korotkiy I. A., Korotkaya E. V., Maltseva O. M. Separative Freezing in the Processing of Skim Milk. Bulletin of KrasSAU. 2015. No 10 (109). Pp. 115-121.

3. Zhang Z., Sun D.-W. Effects of cooling methods on the quality and safety of cooked rice. Journal of Food Engineering. 2006. No 77 (2). Pp. 269-275.
4. Korotkiy I. A., Korotkaya E. V., Kurbanova M. G. Efficiency of artificial refrigeration production in separation freezing units. Technology and Technology of Food Production. 2016. No. 4 (43). Pp. 116-122.
5. Neverov E. N. et al. Energy supply, technological machines and equipment of the agro-industrial complex: monograph. Kemerovo: Kemerovo State University, 2022. 168 p.
6. Madolinsky M. A. Vacuum cooling method. Innovative technologies and education. 2021. Pp. 206-208.
7. Goncharov A. V., Shumaev I. V. Cooling milk with a Freon free cooler when milking cows on pastures. 2023.
8. Korotky I. A., Fedorov D. E., Trizno N. A. Study of the operation of a capacitive crystallizer for the separation freezing of liquid food products. Technology and Technology of Food Production. 2012. No 4 (27). Pp. 106-110.
9. Popov D. M. Heat transfer during boiling of liquid solutions. TOHT. 2002. V. 36. No 5. P. 461.
10. Khamkhoev B. M. and others. The theoretical foundations of high vacuum and the process of obtaining the maximum vacuum in a given volume. Reflection. 2020. No 5. Pp. 3-6.
11. Filippov V. V., Izmailov V. D. Processes and devices of chemical technology: handbook. Samara: Samara State Technical University, 2021. 54 p.
12. Reed R., Prausnitz J., Sherwood T. Properties of Gases and Liquids: a Reference Guide. L.: Chemistry, 1982. 592 p.
13. Nesis E. I. Boiling of Liquids. M.: Nauka, 1973. 280 p.
14. Wang L., Sun D.-W. Recent developments in numerical modelling of heating and cooling processes in the food industry – the review. Trends in Food Science & Technology. 2001. No 12 (11). Pp. 408-423.

Информация об авторах
Шеин Сергей Евгеньевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6), e-mail: shein.98@ya.ru
Короткий Игорь Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6), e-mail: krot69@mail.ru
Расщепкин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6).
Тюнин Аркадий Дмитриевич, ведущий инженер кафедры, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (Российская Федерация, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6).
Authors' Information
Shein Sergey Evgenievich, Postgraduate Student, Kemerovo State University (Russian Federation, 650000, Kemerovo, Krasnaya Str., 6), e-mail: shein.98@ya.ru
Korotkiy Igor Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Kemerovo State University (Russian Federation, 650000, Kemerovo, Krasnaya Str., 6), e-mail: krot69@mail.ru
Rasschepkin Aleksandr Nicolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kemerovo State University (Russian Federation, 650000, Kemerovo, Krasnaya Str., 6).
Tunin Arckhadiy Dmitrievich, Leading Engineer of the Department, Kemerovo State University (Russian Federation, 650000, Kemerovo, Krasnaya Str., 6).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-71

THE INTERSPECIFIC GRAPE VARIETIES' COGNAC DISTILLATES QUALITY INDICATORS STUDYING DURING THE AGING

[1]Chursina O. A., [2]Giro T. M., [2]Slozhenkina, M. I.

[1]Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the National Research Center "Kurchatov Institute
Yalta, Republic of Crimea, Russian Federation
[2]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: olal45@mail.ru

Received 10.06.2026 Submitted 15.07.2026

The studies were carried out within the theme FNZM-2024-0003: Scientific foundations for the formation of the quality of cognac products during aging in contact with oak wood based on the study of the relationship between the components of the aromatic and physicochemical composition in the system "grapes-wine material-cognac distillate.

Summary
The article presents the quality indicators of cognac distillates from interspecific grape varieties during aging for the first five years and demonstrates the potential for their use in cognac production.

Abstract
Introduction. The quality of cognacs is the result of a complex interaction of several factors, in which the grape variety plays a crucial role. The typical properties of cognacs are formed by aging cognac distillates in contact with oak wood, which, according to some authors, dominates the influence of the grape variety. However, underestimating the importance of the varietal factor leads to a decrease in the quality of the raw materials and, consequently, the finished product. **Object.** The object of the research was cognac distillates from grape varieties of different origins (interspecific and European), aged in contact with oak wood for five

years. **Materials and methods.** The content of the main components of the chemical composition of cognac distillates was determined using standard methods. Aroma-forming and extractable components were analyzed using Agilent Technology gas and liquid chromatographs, while extractable components were analyzed using an Agilent Technologies chromatographic system. The quality of the cognac distillates was assessed using organoleptic analysis. **Results and conclusion.** A study was conducted on the qualitative characteristics of cognac distillates from interspecific grape varieties during aging. It was found that varietal characteristics, determined by the qualitative and quantitative composition of volatile components, are preserved during the first five years of maturation and influence the formation of the typical character and quality of cognac distillates. A correlation between the chemical composition of cognac distillate and the origin of the grape variety was established. It was shown that a characteristic feature of cognac distillates from the studied interspecific grape varieties was a lower content of volatile ester components and a higher ratio of esters to higher alcohols compared to European grape varieties. It was noted that the identified differences in chemical composition did not significantly affect the intensity of extraction and oxidation-reduction processes in cognac distillates during aging. An assessment of the aging potential of the interspecific grape varieties Pervenets Magarach, Riesling Magarach, Spartanets Magarach, and Podarok Magarach demonstrated the feasibility of using them to produce high-quality products. Proposed approaches to regulating the composition of cognac distillates from interspecific grape varieties are based on increasing the proportion of esters in the volatile impurities, which can be used to improve the quality of cognac distillates regardless of the grape variety.

Keywords: *grape varieties, grape varietal characteristics, aroma-forming complexes, oak wood, phenolic substances, medium esters, higher alcohols, cognac distillates quality.*

Citation. Chursina O. A., Giro T. M., Slozhenkina M. I. The interspecific grape varieties' cognac distillates quality indicators studying during the aging. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 642-652 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-71.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 663.241

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНЬЯЧНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ ИЗ СОРТОВ ВИНОГРАДА МЕЖВИДОВОЙ СЕЛЕКЦИИ ПРИ ВЫДЕРЖКЕ

[1]Чурсина О. А., *доктор технических наук, старший научный сотрудник*
[2]Гиро Т. М., *доктор технических наук, профессор*
[2]Сложенкина М. И., *доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН*

[1]Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт»
г. Ялта, Республика Крым, Российская Федерация
[2]Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках темы FNZM-2024-0003 «Научные основы формирования качества коньячной продукции при выдержке в контакте с древесиной дуба на основе изучения взаимосвязи компонентов ароматического и физико-химического состава в системе «виноград-виноматериал-коньячный дистиллят».

Аннотация. Качество коньяков является результатом сложного взаимодействия ряда факторов, важную роль в котором играет сорт винограда. Типичные свойства коньяков формируются при выдержке коньячных дистиллятов в контакте с древесиной дуба, которая, по мнению ряда авторов, доминирует над влиянием сорта винограда. Однако недооценка важности сортового фактора приводит к снижению качества сырья и, соответственно, готовой продукции. **Объект.** Объектом исследований являлись коньячные дистилляты из сортов винограда разного происхождения (межвидовые и европейские), выдержанные в контакте с древесиной дуба в течение пяти лет. **Материалы и методы.** Содержание основных компонентов химического состава коньячных дистиллятов определяли общепринятыми методами. Анализ ароматобразующих и экстрагируемых компонентов проводили с использованием газового и жидкостного хроматографов Agilent Technology, экстрагируемых компонентов – с использованием хроматографической системы Agilent Technologies. Оценку качества коньячных дистиллятов проводили методом органолептического анализа. **Результаты и выводы.** Проведены исследования качественных показателей коньячных дистиллятов из сортов винограда межвидовой селекции при выдержке. Выявлено, что сортовые особенности, определяемые качественным и количественным составом летучих компонентов, сохраняются в течение первых пяти лет созрева-

ния и влияют на формирование типичности и качества коньячных дистиллятов. Химический состав коньячного дистиллята определяется происхождением сорта винограда. Для дистиллятов, полученных из исследованных межвидовых сортов, характерна пониженная концентрация летучих сложных эфиров и одновременно более высокое соотношение сложных эфиров к высшим спиртам в сравнении с дистиллятами из европейских сортов.

Отмечено, что на интенсивность экстракционных и окислительно-восстановительных процессов в коньячных дистиллятах при выдержке выявленные отличия химического состава существенного влияния не оказали. Оценка потенциала межвидовых сортов винограда Первенец Магарача, Рислинг Магарача, Спартанец Магарача и Подарок Магарача к выдержке показала целесообразность их использования для получения качественной продукции. Предложены методы регулирования состава коньячных дистиллятов, полученных из межвидовых сортов винограда, путём увеличения доли эфиров в летучих примесях для повышения их качества вне зависимости от происхождения сырья.

Ключевые слова: *сорта винограда, сортовые особенности винограда, ароматобразующие комплексы, древесина дуба, фенольные вещества, средние эфиры, высшие спирты, качество коньячных дистиллятов.*

Цитирование. Чурсина О. А., Гиро Т. М., Сложенкина М. И. Исследование качественных показателей коньячных дистиллятов из сорта винограда межвидовой селекции при выдержке. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 642-652. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-71.

Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.

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. Первостепенное влияние на качество и ароматический профиль коньяка оказывает сорт винограда. В отличие от производства вина, будущее качество которого оценивают по внешнему виду ягоды, ее аромату и вкусу, в коньячном производстве более важен химический состав виноматериала, летучие вещества которого после перегонки напрямую влияют на букет и качество коньяка.

Сортовые особенности коньячных дистиллятов формируются летучими соединениями винограда и их предшественниками, но в большой степени – образующимися в виноматериале вторичными продуктами брожения (сложными эфирами, высшими спиртами, летучими кислотами и альдегидами). Качественный и количественный их состав обусловлен содержанием в виноградной ягоде углеводов, органических кислот, азотистых, фенольных и других веществ, синтез которых определяется генотипом сорта и зависит от агроклиматических условий выращивания винограда, степени его зрелости и т. д. (Скурихин И. М., 2005; Tsakiris A., 2014).

В коньячном производстве высоко ценятся европейские сорта винограда (*Vitis vinifera L.*), обладающие нейтральным ароматом и повышенной кислотностью, которые позволяют получать высококачественную продукцию (Хиабахов Т. С., 2001; Оселедцева И. В., 2016), [1, 2]. Для восполнения ограниченного ресурса европейских сортов все более широко в промышленную переработку вовлекаются сорта винограда сложной межвидовой селекции, обладающие рядом ценных хозяйственно-биологических признаков (ранние сроки созревания, высокая продуктивность, устойчивость к биотическим и абиотическим стресс-факторам). Их использование в коньячном производстве с недавних пор закреплено на законодательном уровне (ФЗ № 468 «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации»).

Межвидовые сорта винограда созданы путём гибридизации *Vitis vinifera L.* с формами, имеющими смешанное происхождение (европейские сорта, а также гибриды и виды американского и амурского винограда). Обладая широким спектром исходных генотипов, эти селекционные сорта демонстрируют слабую корреляцию с дикими предками. При этом их органолептические характеристики максимально приближены к показателям европейских сортов (Клименко В. П., 2003).

Адаптивность межвидовых сортов винограда к лимитирующим параметрам среды формируется за счёт различных механизмов растения (физиологических, генетических, биохимических, структурных и др.), которые определяют различный уровень компонентов химического состава ягод (белки, полифенолы, полисахариды, ферменты и т. д.) и влияют, соответственно, на состав и качество готового продукта [3, 4].

Установлено, что дистилляты, полученные из различных сортов винограда, различаются по концентрации фруктовых и цветочных эфиров, содержанию терпенов, а также по степени выраженности процессов экстракции, составу и количественному соотношению компонентов, извлечённых из дубовой древесины [5-8]. В зависимости от сорта винограда в виноматериалах и коньячных дистиллятах варьирует содержание легколетучих компонентов: метанола, β-фенилэтанола, высших спиртов (изобутанола, изоамилола), участвующих в сложении их ароматобразующих комплексов. Определяющую роль сорта винограда подтверждает также многомерный статистический анализ дистиллятов и бренди, который позволил четко сгруппировать образцы именно по сортовому происхождению.

Базовый ароматический профиль дистиллята количественно и качественно формируется при дистилляции виноматериалов, в процессе которой происходит концентрирование, трансформирование и фракционирование летучих соединений виноматериала. При этом значительное влияние на их состав оказывает способ перегонки [9]. При периодической дистилляции в медных кубах коньячный дистиллят насыщен летучими компонентами в большей степени и сортовой аромат винограда выражен более акцентированно.

Основной стадией в технологии коньяков является выдержка коньячных дистиллятов в контакте с древесиной дуба. В этот период происходят сложные физико-химические процессы (экстракция компонентов древесины, их гидролиз, окислительно-восстановительные реакции, конденсация фенольных соединений и др.), в результате которых коньячный дистиллят приобретает мягкость вкуса, ароматическую сложность и типичные свойства [10-14].

Создавая химический фундамент коньячных дистиллятов, сорт винограда определяет их потенциал к выдержке, то есть способность к трансформации под воздействием древесины дуба и окислительных процессов, формируя уникальные характеристики. Однако в аспекте кардинальных изменений органолептических свойств коньячных дистиллятов, протекающих на этом этапе, выдержке приписывают роль доминирующего фактора, в то время как сорт винограда обусловливает только индивидуальность напитка (Оселедцева И. В., 2026; [15, 16]). По мнению других авторов, напротив, применяемые технологические режимы переработки винограда определяют только общий фон букета и вкуса продукта, способствуя в ряде случаев как усилению, так и снижению интенсивности сортового аромата (Хиабахов Т. С., 2001; [17]). Недооценка важности сортового фактора может приводить к снижению качества сырья и, соответственно, готовой продукции.

Таким образом, сорт винограда оказывает значительное влияние на формирование состава летучих компонентов, сенсорный профиль и способность дистиллята к созреванию, поэтому правильный его выбор является стратегическим решением. В связи с этим исследования, направленные на изучение влияния сортов винограда межвидовой селекции на процессы созревания и качество коньячных дистиллятов при выдержке, являются актуальными.

Цель исследования: Оценка качественных характеристик коньячных дистиллятов, полученных из сортов винограда межвидовой селекции, в процессе их выдержки.

Материалы и методы: В качестве объектов исследования выступали коньячные дистилляты, полученные из сортов винограда межвидовой селекции (таких как Первенец Магарача, Рислинг Магарача, Подарок Магарача, Аврора Магарача, Спартанец Магарача, Перлинка) и европейских сортов (включая Ркацители, Алиготе, Шабаш, Уни блан, Коломбар, Чинури, Совиньон зеленый и др.), которые произрастают на территории Республики Крым (в частности, в г. Ялта и пгт Вилино Бахчисарайского района).

Для производства виноматериалов осуществлялось дробление винограда с последующим гребнеотделением, а также брожение сусла с использованием чистых культур дрожжей вида *Sacharomyces cerevisiae* из Коллекции микроорганизмов виноделия (включая штаммы 47-К, Кокур 3, Артемовская 7, Магарач 125, Ркацители 6, Судак VI-5, Херес 20С/96 и другие) (Танащук Т. Н. и др., 2017). Дистилляция виноматериалов проводилась на стендовой установке по шарантской технологии.

Выдержка коньячных дистиллятов осуществлялась в контакте с древесиной дуба с удельной поверхностью клепки 70-90 см²/л на протяжении пяти лет при нормальных условиях.

Содержание основных физико-химических компонентов коньячных дистиллятов определяли общепринятыми методами (Гержикова В. Г., 2009). Анализ компонентов аромата выполняли с использованием газового хроматографа Agilent Technology (модель 6890N), экстрагируемых компонентов выдержки – с использованием хроматографической

системы Agilent Technologies (модель 1100) с диодно-матричным детектором. Оценку качества коньячных дистиллятов проводили методом органолептического анализа по ГОСТ 32051. Результаты систематизировали с использованием программного обеспечения MS Excel-2016.

Результаты и обсуждение. Анализ исследуемых выдержанных коньячных дистиллятов из разных сортов винограда показал, что основную долю в составе их ароматобразующего комплекса составляют высшие спирты, причем в образцах из межвидовых сортов винограда она выше, чем из европейских, соответственно 83-91 % и 81-88 %. В небольших количествах (до 300 мг/дм^3 безводного спирта) высшие спирты служат фоном для сортового аромата, но при повышенном содержании привносят в сенсорный профиль коньячного дистиллята специфические тона сивушных масел (рисунок 1).

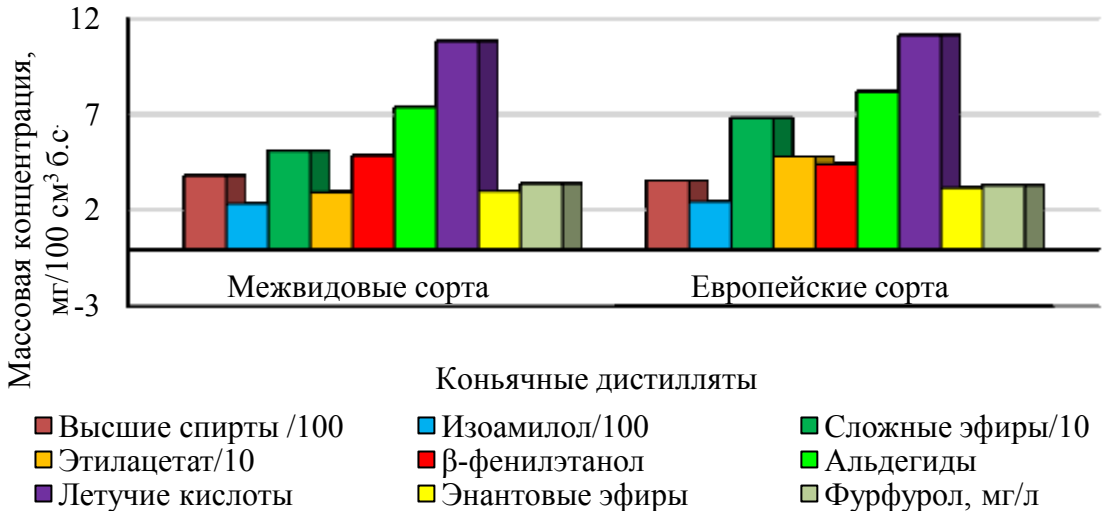


Рисунок 1 – Состав ароматобразующего комплекса выдержанных коньячных дистиллятов из межвидовых и европейских сортов винограда
Figure 1 – The aroma-forming complex composition of the aged cognac distillates interspecific and European grape varieties

Образцы незначительно отличались по содержанию метанола, β-фенилэтанола и другим показателям, самое существенное различие установлено по уровню сложных эфиров, обусловливающих формирование цветочных и плодовых ароматов в букете коньячных дистиллятов. Образцы коньячного дистиллята из винограда межвидовой селекции содержали на 45,7 % меньше сложных эфиров в составе летучих примесей (6,68 %) по сравнению с образцами из европейских сортов (9,74 %). Показатель качества, рассчитываемый как отношение содержания сложных эфиров к высшим спиртам, также был ниже: у европейских сортов он составлял в среднем 0,11, тогда как у межвидовых – лишь 0,07. Данное различие в химическом составе, обусловленное происхождением сорта винограда, является устойчивой характеристикой и не зависит ни от климатических условий года, ни от географической зоны произрастания.

Основным компонентом эфиров в коньячных дистиллятах является этилацетат, образующийся в процессе брожения как побочный продукт. Он придает дистилляту цветочный/фруктовый аромат, который положительно влияет на его качество. Более ценными для коньячного производства являются этиловые эфиры монокарбоновых жирных кислот – энантовые эфиры (этилкаприлат, этилкапринат, этиллауринат), которые вносят в аромат «мыльную» ноту, что повышает их значимость в продуктах дистилляции. Источником их являются дрожжи при брожении или перегонке виноматериалов, поэтому содержание компонентов энантового эфира больше зависит от технологических факторов (условий брожения и перегонки виноматериалов, свойств расы дрожжей). В наших исследованиях использовался единый подход к технологии, поэтому существенной разницы между дистиллятами не обнаружено.

Фурановые производные образуются в процессе реакций Майяра при нагревании виноматериала либо при пиролизе углеводов древесины дуба при ее термической обработке и обеспечивают появление карамельного или пряного аромата, а также тонов миндаля. По содержанию фурфурола в коньячных дистиллятах существенных различий в зависимости от происхождения сорта винограда не установлено.

Формирование сортового аромата коньячных дистиллятов происходит при участии терпеновых спиртов, которые придают ему цветочные ноты. К этим соединениям относятся линалоол, α-терпинеол и другие. Их концентрация в образцах составляла от 0,5 до 1,2 мг на 100 см³ безводного спирта и определялась сортом винограда и его происхождением (рисунок 2). Анализ показал, что наибольший средний уровень этих веществ – 0,86 мг/100 см³ – был зафиксирован в образцах из межвидовых сортов (Первенец Магарача и Рислинг Магарача), тогда как в дистиллятах из европейских сортов этот показатель составил 0,64 мг/100 см³.

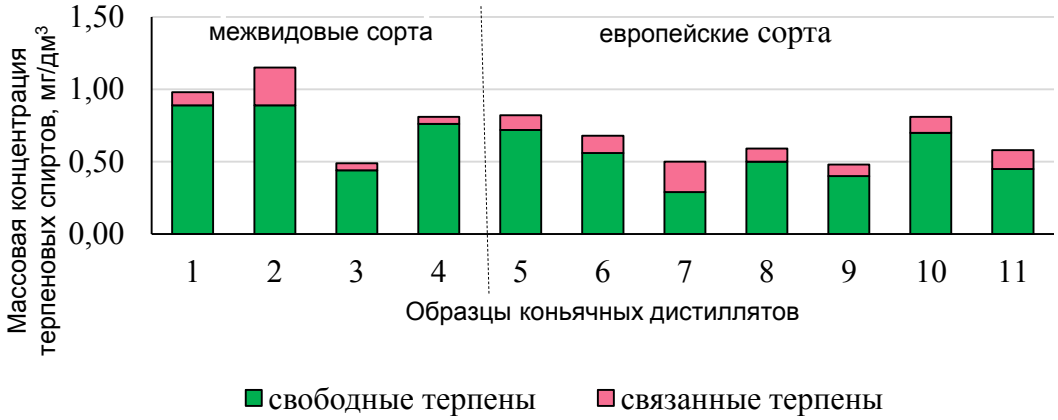


Рисунок 2 – Содержание терпеновых спиртов в коньячных дистиллятах из сортов винограда:
1 – Первенец Магарача, 2 – Рислинг Магарача, 3 – Аврора Магарача, 4 – Перлинка, 5 – Алиготе, 6 – Ркацители, 7 – Уни блан, 8 – Коломбар, 9 – Совиньон зеленый, 10 – Чинури, 11 – Шабаш
Figure 2 – Content of terpene alcohols in cognac distillates from grape varieties:
1 – Pervenets Magarach, 2 – Riesling Magarach, 3 – Aurora Magarach, 4 – Perlinka, 5 – Aligote, 6 – Rkatsiteli, 7 – Ugni Blanc, 8 – Colombard, 9 – Sauvignon green, 10 – Chinuri, 11 – Shabash

При выдержке в контакте с древесиной дуба коньячный дистиллят обогащается растворимыми веществами дубовой древесины и продуктами распада лигнина; активно протекают окислительные превращения фенольных веществ, повышая содержание их полимерных форм и степень окисленности.

Как показали исследования, сортовая принадлежность исследуемых образцов коньячного дистиллята не оказала значимого влияния на интенсивность экстракционных и окислительных процессов. По истечении пяти лет выдержки массовая концентрация фенольных веществ коньячных дистиллятов, их полимерных и мономерных форм, содержание пирогалловых гидроксильных групп (ПГГ), величина pH и показатель окисляемости (ПО) оказались на сопоставимом уровне, без существенных различий между сортовыми коньячными дистиллятами (рисунок 3).



Рисунок 3 – Массовая концентрация компонентов фенольного комплекса, показателя окисляемости и величины pH в коньячных дистиллятах из межвидовых и европейских сортов винограда
Figure 3 – Mass concentration of phenolic compound components, oxidation index and pH value in cognac distillates from interspecific and European grape varieties

В состав коньячных дистиллятов включаются также продукты этанолиза лигнина – ароматические альдегиды (конифериловый, синаповый, сиреневый, ванилин), при окислении которых образуются ароматические кислоты. Содержание ароматических соединений зависит многих факторов: химического состава древесины, кислотности и спиртуозности среды, температурного и кислородного режима выдержки и т. д. Обладая летучестью, они активно участвуют в сложении букета коньячных дистиллятов, придавая им характерные тона выдержки.

Содержание их постоянно растет в процессе выдержки и уже на втором году их уровень в коньячном дистилляте достигает 75 % от значения показателя пятилетней выдержки (рисунок 4). По окончании выдержки между значениями показателей исследуемых межвидовых и европейских сортов винограда существенных отличий не установлено.

Как показали исследования, несмотря на накопление в коньячных дистиллятах при выдержке экстрактивных веществ, их исходный состав летучих соединений не изменился, как и соотношение основных групп ароматобразующих компонентов (сложные эфиры/высшие спирты).

Таким образом, выдержка коньячных дистиллятов в течение первых пяти лет не повлияла кардинально на баланс летучих примесей и не стерла сортовые различия между межвидовыми и европейскими сортами, а лишь дополнила ароматическими соединениями из дубовой древесины, повысив сложность букета и качество коньячных дистиллятов.

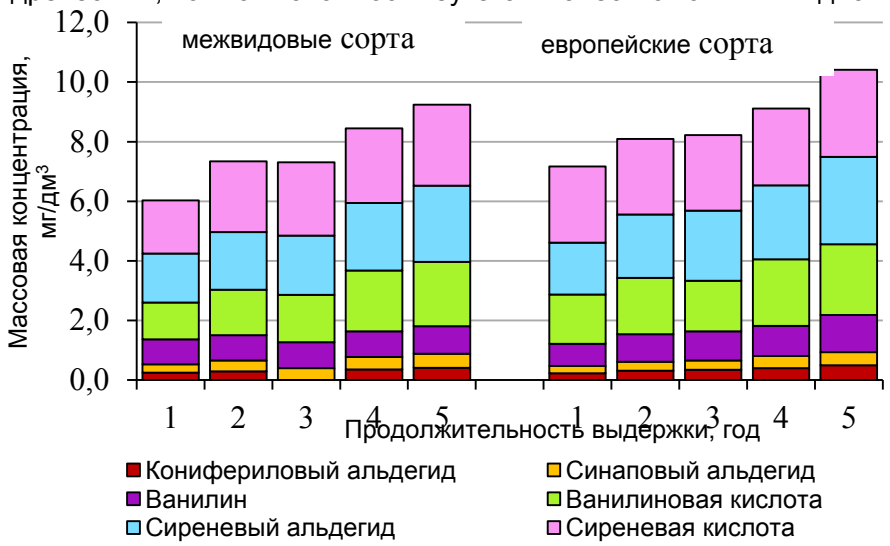


Рисунок 4 – Динамика массовой концентрации ароматических альдегидов и кислот в коньячных дистиллятах из межвидовых и европейских сортов винограда при выдержке
Figure 4 – Dynamics of mass concentration of aromatic aldehydes and acids in the interspecific and European grape varieties' cognac distillates during aging

Органолептический анализ коньячных дистиллятов показал закономерное повышение их качества с увеличением продолжительности выдержки, которое возрастало пропорционально его уровню в исходных коньячных дистиллятах, закладываемых на выдержку (r = 0,654). Эта закономерность одинаково справедлива для всех сортовых дистиллятов. Установлена прямая корреляция между органолептической оценкой образцов и содержанием в них сложных эфиров, а также величиной соотношения сложных эфиров к высшим спиртам.

Наиболее высоким дегустационным баллом отличались образцы из европейских сортов винограда (Алиготе, Шабаш, Ркацители, Уни блан Коломбар) (рисунок 5). Среди межвидовых сортов винограда высоко отмечены образцы Первенец Магарача, Рислинг Магарача, Спартанец Магарача и Подарок Магарача, качество которых лишь незначительно уступало европейским сортам.

Основой для классического коньяка или бренди являются сорта винограда с нейтральным ароматом и большим потенциалом для его развития при дальнейшей выдержке. При переработке винограда с ограниченным ресурсом сортовых свойств можно получить коньячные дистилляты с простым, обедненным букетом и вкусом. Исследование сортов винограда Аврора Магарача и Ифигения показало их недостаточный потенциал, что обусловило целесообразность направлять их в купажи с более качественными дистиллятами.

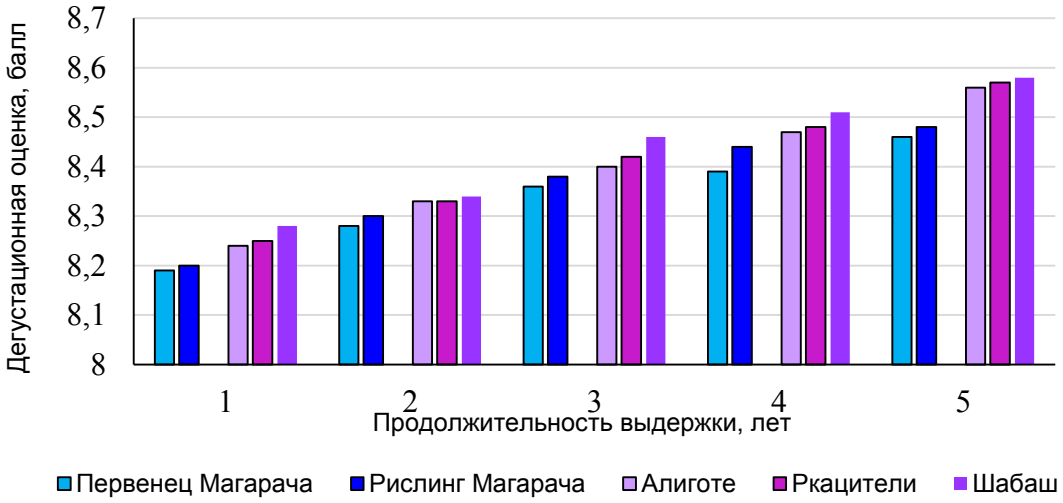


Рисунок 5 – Органолептическая оценка выдержанных коньячных дистиллятов из межвидовых и европейских сортов винограда
Figure 5 – Organoleptic evaluation of the interspecific and European grape varieties' aged cognac distillates

Использование сорта винограда с высоким уровнем сложных эфиров, но обладающего ароматом, не свойственным коньячному направлению (например, Сухолиманский белый), привело к появлению в букете и вкусе дистиллята нетипичных тонов (травянисто-шалфейных и цитрусовых), которые сохранялись и доминировали после его пятилетней выдержки. Такие сорта не соответствовали требованиям коньячного производства, но могут быть востребованы в изготовлении других крепких спиртных напитков.

Установлена тесная корреляция между сортовой принадлежностью образца и показателями химического состава – содержанием суммы сложных эфиров (r = 0,718), а также соотношением сложных эфиров к высшим спиртам (r = 0,712). Увеличение доли эфиров в составе летучих примесей коньячных дистиллятов из межвидовых сортов винограда будет способствовать повышению их качества. Установлено минимальное значение показателя, которое должно составлять не менее 20 % [оптимизация].

Как показали исследования, для повышения содержания сложных эфиров в коньячных дистиллятах целесообразно осуществлять сбор винограда в стадии его технической зрелости (160-190 г/л) (рисунок 6). Способствует повышению качества коньячных дистиллятов также использование при брожении сусла подобранной расы дрожжей с повышенной способностью к синтезу эфиров (например Херес 96/20С, Севастопольская 23), проведение осветления сусла перед брожением, увеличение количества осадочных дрожжей при перегонке виноматериалов (до 7-15 %) и др. Эти меры рекомендуются для улучшения коньячных дистиллятов независимо от происхождения сорта винограда.

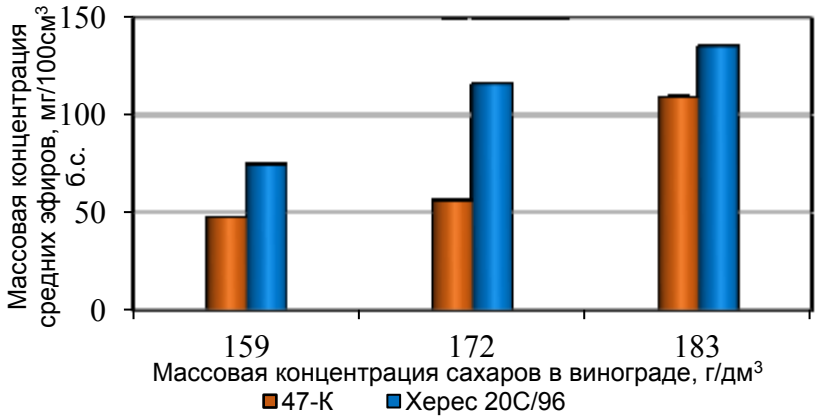


Рисунок 6 – Влияние массовой концентрации сахаров в винограде и расы дрожжей на содержание сложных эфиров в коньячных дистиллятах
Figure 6 – The influence of mass concentration of sugars in grapes and yeast race on the content of esters in cognac distillates

Заключение. Проведены исследования качественных показателей коньячных дистиллятов из сортов винограда межвидовой селекции при выдержке. Выявлено, что сортовые особенности, определяемые составом летучих компонентов виноматериалов после перегонки, сохраняются в коньячных дистиллятах в течение первых пяти лет созревания и влияют на формирование их типичности и качества.

Показано, что характерным признаком химического состава коньячных дистиллятов из исследуемых межвидовых сортов винограда явились более низкие значения доли сложных эфиров в составе летучих компонентов (на 45,7 %) и их соотношения с высшими спиртами по сравнению с европейскими сортами винограда. Однако на интенсивность экстракционных и окислительно-восстановительных процессов в коньячных дистиллятах при выдержке особенности свойств исследуемых межвидовых сортов винограда существенного влияния не оказали. Установлен высокий потенциал межвидовых сортов винограда Первенец Магарача, Рислинг Магарача, Спартанец Магарача и Подарок Магарача для выдержки коньячных дистиллятов и получения качественной продукции.

Предложены основные направления регулирования состава коньячных дистиллятов из межвидовых сортов винограда, основанные на повышении доли сложных эфиров в составе летучих примесей, которые применимы для повышения качества коньячных дистиллятов независимо от происхождения сорта винограда.

Conclusion. Research has been conducted on the quality indicators of cognac distillates made with interspecific grape varieties during aging. It was found that varietal characteristics, determined by the composition of the volatile components of wine materials after distillation, persist in cognac distillates during the first five years of maturation and influence their typicality and quality. It was shown that a characteristic feature of the chemical composition of cognac distillates from the studied interspecific grape varieties was a lower proportion of esters in the volatile components (by 45.7 %) and their ratio to higher alcohols compared to European grape varieties. However, the properties of the studied interspecific grape varieties did not significantly affect the intensity of extraction and oxidation-reduction processes in cognac distillates during aging. The high potential of the interspecific grape varieties Pervenets Magarach, Riesling Magarach, Spartanets Magarach, and Podarok Magarach for aging cognac distillates and producing high-quality products has been established. Guidelines for regulating the composition of cognac distillates from interspecific grape varieties are proposed, based on increasing the proportion of esters in the volatile impurities. These guidelines are applicable to improving the quality of cognac distillates regardless of the grape variety.

Библиографический список

1. Шелудько О. Н. и др. Характеристика качественных коньячных дистиллятов. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 68 (2). С. 232-241.
2. Агеева Н. М., Тихонова А. Н., Чемисова Л. Э., Шелудько О. Н. Активность окислительных ферментов в виноградном сусле, предназначенном для производства коньячных виноматериалов. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. № 73 (1). С. 285-295.
3. Гугучкина Т. И., Прах А. В., Шелудько О. Н. Сорта, обладающие потенциалом для производства коньяков России. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. № 75 (3). С. 26-39.
4. Чурсина О. А. Роль сорта винограда в формировании качества коньячных виноматериалов и дистиллятов. Магарач. Виноградарство и виноделие. 2020. № 22 (4). С. 362-367.
5. Schwarz M. M. et al. Analytical characterization and sensory analysis of distillates of different varieties of grapes aged by an accelerated method. Foods. 2020. No 9. Art. 277.
6. Raičević D., Popović T., Jančić D., Šuković D., Pajović-Šćepanović R. The Impact of Type of Brandy on the Volatile Aroma Compounds and Sensory Properties of Grape Brandy in Montenegro. Molecules. 2022. No 27 (9).
7. Matijašević S., Popović-Djordjević J, Ristić R., Ćirković D., Ćirković B., Popović T. Volatile Aroma Compounds of Brandy 'Lozovača' Produced from Muscat Table Grapevine Cultivars (Vitis vinifera L.). Molecules. 2019. No 24 (13). Art. 2485.
8. Marangon C. M, De Rosso M., Carraro R., Flamini R. Changes in volatile compounds of grape pomace distillate (Italian grappa) during one-year ageing in oak and cherry barrels. Food Chemistry. 2021. V. 344. Art. 128658.
9. Hu R., Duan C., Lan Y. Investigating the Effects of Distillation System, Geographical Origin, and Aging Time on Aroma Characteristics in Brandy Using an Untargeted Metabonomic Approach. Foods. 2024. No 13 (12). Art. 1922.
10. Canas S., Caldeira I., Anjos O., Belchior A. P. Phenolic profile and color acquired by the wine spirit in the beginning of ageing: Alternative technology using micro-oxygenation vs traditional technology. Lwt. 2019. V. 111. Pp. 260-269.
11. Krstić J., Kostić-Stanković M., Veljović S. Traditional and innovative aging technologies of distilled beverages: the influence on the quality and consumer preferences of aged spirit drinks. Journal of Agricultural Sciences (Belgrade). 2021. V. 66.3. Pp. 209-230.
12. Vivas N., Vivas de Gaulejac N., Bourden Nonier M. F., Mouche C., Rossy C. Extraction of phenolics from new oak casks during spirit maturation: impact on spirit color. Journal of the Institute of Brewing. 2020. No 126 (1). Pp. 83-89.

13. Delgado-Gonzalez M. J. et al. Color evolution kinetics study of spirits in their ageing process in wood casks. Food Control. 2020. No 119 (5). Art. 107468.
14. Butrón-Benítez D., Valcárcel-Muñoz M. J., García-Moreno M. V., Rodríguez-Dodero M. C., Guillén-Sánchez D. The Chemical and Sensory Profile of Grape Distillates Aged in Quercus alba Casks Previously Used for Sherry Wine or Brandy. Molecules. 2024. No 29 (22). Art. 5303.
15. Guerrero-Chanivet M., García-Moreno M. V., Valcárcel-Muñoz M. J., Guillén-Sánchez D. A. Determining the impact of seasoning on the volatile chemical composition of the oak wood of different Sherry Casks® by DTD-GC-MS. Wood Science and Technology. 2023. No 57 (4). Pp. 861-878.
16. Tarko T., Krankowski F., Duda-Chodak A. The Impact of Compounds Extracted from Wood on the Quality of Alcoholic Beverages. Molecules. 2023. No 28 (2). Art. 620.
17. Чурсина О. А., Загоруйко В. А., Легашева Л. А., Погорелов Д. Ю., Мартыновская А. В., Удод Е. Л., Соловьев А. Е. Оптимизация технологии молодых коньячных дистиллятов из межвидовых сортов винограда. Магарач. Виноградарство и виноделие. 2022. № 24 (4). С. 368-373.

References

1. Shelud'ko O. N., Ageeva N. M., Guguchkina T. I., Burtsev B. V., Antonenko M. V., Biryukova S. A., Yakuba Yu. F. Characteristics of quality brandy distillates. Fruit growing and viticulture of the South of Russia. 2021. No 68 (2). Pp. 232-241.
2. Ageeva N. M., Tikhonova A. N., Chemisova L. E., Sheludko O. N. Activity of the Oxidative Enzymes in Grape Must Intended for the Production of Brandy Wine Materials. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2022. No 73 (1). Pp. 285-295.
3. Guguchkina T. I., Prakh A. V., Shelud'ko O. N. Grape varieties with potential for the production of cognacs in Russia. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2022. No 75 (3). Pp. 26-39.
4. Chursina O. A. The role of grape variety in the quality formation of brandy base wines and distillates. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2020. No 22 (4). Pp. 362-367.
5. Schwarz M. M. et al. Analytical characterization and sensory analysis of distillates of different varieties of grapes aged by an accelerated method. Foods. 2020. No 9. Art. 277.
6. Raičević D., Popović T., Jančić D., Šuković D., Pajović-Šćepanović R. The Impact of Type of Brandy on the Volatile Aroma Compounds and Sensory Properties of Grape Brandy in Montenegro. Molecules. 2022. No 27 (9).
7. Matijašević S., Popović-Djordjević J, Ristić R., Ćirković D., Ćirković B., Popović T. Volatile Aroma Compounds of Brandy 'Lozovača' Produced from Muscat Table Grapevine Cultivars (Vitis vinifera L.). Molecules. 2019. No 24 (13). Art. 2485.
8. Marangon C. M, De Rosso M., Carraro R., Flamini R. Changes in volatile compounds of grape pomace distillate (Italian grappa) during one-year ageing in oak and cherry barrels. Food Chemistry. 2021. V. 344. Art. 128658.
9. Hu R., Duan C., Lan Y. Investigating the Effects of Distillation System, Geographical Origin, and Aging Time on Aroma Characteristics in Brandy Using an Untargeted Metabonomic Approach. Foods. 2024. No 13 (12). Art. 1922.
10. Canas S., Caldeira I., Anjos O., Belchior A. P. Phenolic profile and color acquired by the wine spirit in the beginning of ageing: Alternative technology using micro-oxygenation vs traditional technology. Lwt. 2019. V. 111. Pp. 260-269.
11. Krstić J., Kostić-Stanković M., Veljović S. Traditional and innovative aging technologies of distilled beverages: the influence on the quality and consumer preferences of aged spirit drinks. Journal of Agricultural Sciences (Belgrade). 2021. V. 66.3. Pp. 209-230.
12. Vivas N., Vivas de Gaulejac N., Bourden Nonier M. F., Mouche C., Rossy C. Extraction of phenolics from new oak casks during spirit maturation: impact on spirit color. Journal of the Institute of Brewing. 2020. No 126 (1). Pp. 83-89.
13. Delgado-Gonzalez M. J. et al. Color evolution kinetics study of spirits in their ageing process in wood casks. Food Control. 2020. No 119 (5). Art. 107468.
14. Butrón-Benítez D., Valcárcel-Muñoz M. J., García-Moreno M. V., Rodríguez-Dodero M. C., Guillén-Sánchez D. The Chemical and Sensory Profile of Grape Distillates Aged in Quercus alba Casks Previously Used for Sherry Wine or Brandy. Molecules. 2024. No 29 (22). Art. 5303.
15. Guerrero-Chanivet M., García-Moreno M. V., Valcárcel-Muñoz M. J., Guillén-Sánchez D. A. Determining the impact of seasoning on the volatile chemical composition of the oak wood of different Sherry Casks® by DTD–GC–MS. Wood Science and Technology. 2023. No 57 (4). Pp. 861-878.
16. Tarko T., Krankowski F., Duda-Chodak A. The Impact of Compounds Extracted from Wood on the Quality of Alcoholic Beverages. Molecules. 2023. No 28 (2). Art. 620.
17. Chursina O. A., Zagorouiko V. A., Legasheva L. A., Pogorelov D. Yu., Martynovskaya A. V., Udod E. L., Soloviev A. E. Optimization of the technology of young brandy distillates from interspecific grape variety. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2022. No 24 (4). Pp. 368-373.

Информация об авторах

Чурсина Ольга Алексеевна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, Крымский научно-исследовательский центр виноградарства и виноделия «Магарач» Курчатовского комплекса виноградарства и виноделия НИЦ «Курчатовский институт» (Российская Федерация, Республика Крым, г. Ялта), https://orcid.org/0000-0003-4976-0871, e-mail: olal45@mail.ru
Гиро Татьяна Михайловна, доктор технических наук, профессор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. Маршала Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3039-1324, e-mail: girotm.57@yandex.ru
Сложенкина Марина Ивановна, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. Маршала Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Chursina Olga Alekseevna, Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher, Crimean Research Center for Viticulture and Winemaking "Magarach" of the Kurchatov Complex of Viticulture and Winemaking of the National Research Center "Kurchatov Institute" (Russian Federation, Republic of Crimea, Yalta), https://orcid.org/0000-0003-4976-0871, e-mail: olal45@mail.ru

Giro Tatyana Mikhailovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3039-1324, e-mail: girotm.57@yandex.ru

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400131, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-72

THE PRODUCTION OF THE BIODEGRADABLE MATERIAL BASED ON THE CORN – CORN BRAN DEEP PROCESSING WASTE

[1]Kartushina Yu. N., [1,2]Khramova V. N., [1]Nabizade A. S.

[1]Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation
[2]Don State Agrarian University
Rostov Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: hramova_vn@mail.ru

Received 23.04.2026 Submitted 06.06.2026

Summary

This work presents the results of developing a biodegradable material based on a starch-containing waste product from the deep processing of corn – corn bran. The optimal composition of the resulting material has been determined: corn bran – 10,52 %, water – 78,88 %, glycerol – 2,19 %, pectin – 2,98 %, microcrystalline cellulose (MCC) – 4,38 %, calcium – 1,05 %. The employed drying and molding method using hot pressing ensured maximum product strength of 9,8 MPa. It has been established that the obtained material completely dissolves in water within 7 to 137 minutes, depending on the molding and drying method, confirming its biodegradability. The research demonstrates the potential for reducing environmental impact by replacing traditional plastic tableware and utilizing organic waste generated during the processing of agricultural products.

Abstract

Introduction. The issue of waste accumulation from single-use plastic tableware and packaging is becoming increasingly critical each year, particularly within the context of regional and global environmental security. The decomposition period of such items can reach several hundred years, during which the material breaks down into micro plastic particles, only exacerbating the situation. Simultaneously, the deep processing of corn generates a waste byproduct containing up to 50 % starch – corn bran. Due to its composition, this waste possesses significant potential as a source of renewable raw material. Therefore, developing a biodegradable material based on corn bran addresses two challenges simultaneously: reducing the use of traditional polymers and utilizing waste from the deep processing of corn. This research is relevant within the framework of transitioning to a circular economy and mitigating the long-term damage caused by traditional polymers by creating an environmentally safe alternative with competitive properties. **Research object.** A biodegradable material based on a starch-containing waste product from the deep processing of corn – corn bran. **Materials and methods.** The following were used: corn bran, water, glycerol, pectin, microcrystalline cellulose (MCC), Calcium. The process included stages of mixing, homogenization, molding, and drying. **Results.** The optimal strength of the obtained biodegradable material was achieved – 9,8 MPa. The time for complete dissolution in water was 17 minutes. Conclusions were drawn regarding the material's environmental friendliness and competitiveness.

Keywords: *biodegradable materials, sources of renewable raw materials, corn pulp, packaging materials, waste disposal.*

Citation. Kartushina Yu. N., Khramova V. N., Nabizade A. S. The production of the biodegradable material based on the corn – corn bran deep processing waste. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 652-662 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-72.

Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.

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

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

УДК 504.06+621.798

ПОЛУЧЕНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОТХОДА ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КУКУРУЗЫ – МЕЗГИ КУКУРУЗНОЙ

[1]Картушина Ю. Н., *кандидат геолого-минералогических наук, доцент*
[1,2]Храмова В. Н., *доктор биологических наук, профессор*
[1]Набизаде А. С., *соискатель*

[1]ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
Ростовская область, Российская Федерация

Аннотация. В работе представлены результаты разработки биоразлагаемого материала на основе крахмалосодержащего отхода глубокой переработки кукурузы – кукурузной мезги. Определен оптимальный состав полученного материала: кукурузная мезга – 10,52 %, вода – 78,88 %, глицерин – 2,19 %, пектин – 2,98 %, микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) – 4,38 %, кальций – 1,05 %. Использованный метод сушки и формовки с помощью горячего прессования обеспечил максимальную прочность изделий – 9,8 МПа. Установлено, что полученный материал полностью растворяется в воде за 7-137 минут в зависимости от метода формования и сушки, что подтверждает его биоразлагаемость. Исследование демонстрирует потенциал сокращения экологической нагрузки за счет замены традиционной пластиковой посуды и утилизации органических отходов, образующихся при переработке сельскохозяйственной продукции.

Актуальность. Проблема накопления отходов от использования одноразовой пластиковой посуды и упаковки с каждым годом приобретает все более критический характер, особенно в контексте региональной и глобальной экологической безопасности. При этом срок разложения таких изделий достигает нескольких сотен лет, в течение которых материал, распадаясь на микрочастицы пластика, только усугубляет ситуацию. Одновременно с этим, при глубокой переработке кукурузы, образуется отход, содержащий в своем составе до 50 % крахмала – кукурузная мезга. За счет своего состава данный отход обладает высоким потенциалом стать источником возобновляемого сырья. Таким образом, разработка биоразлагаемого материала на основе кукурузной мезги позволит решить сразу две задачи: сокращение использования традиционных полимеров и утилизация отходов от глубокой переработки кукурузы. Данное исследование актуально в рамках перехода к циркулярной экономике, а также снижения долгосрочного ущерба от традиционных полимеров путем создания экологически безопасной альтернативы, имеющей конкурентоспособные свойства. **Объект исследования.** Биоразлагаемый материал на основе крахмалосодержащего отхода глубокой переработки кукурузы – кукурузной мезги. **Материалы и методы.** Использованы: кукурузная мезга, вода, глицерин, пектин, МКЦ (микрокристаллическая целлюлоза), кальций. Процесс включал стадии смешения, гомогенизации, формовки и сушки. **Результаты.** Достигнута оптимальная прочность полученного биоразлагаемого материала – 9,8 МПа. Время полного растворения в воде – 17 минут. Сделаны выводы об экологичности и конкурентоспособности материала.

***Ключевые слова*:** *биоразлагаемые материалы, источники возобновляемого сырья, мезга кукурузная, упаковочные материалы, утилизация отходов.*

Цитирование. Картушина Ю. Н., Храмова В. Н., Набизаде А. С. Получение биоразлагаемого материала на основе отхода глубокой переработки кукурузы – мезги кукурузной. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 652-662. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-72.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Глобальный экологический кризис, вызванный пластиковым загрязнением, является одной из наиболее острых проблем современности. Традиционные синтетические полимеры, обладая высокой стабильностью и долговечностью, накапливаются в экосистемах, формируя долговременное загрязнение. Особую угрозу представляет микропластик [1].

Но современные технологии позволяют создавать биоразлагаемые полимеры с конкурентоспособными характеристиками: они демонстрируют удовлетворительные механические свойства, барьерные функции и могут быть адаптированы для различных применений.

Важнейшее преимущество таких материалов – соответствие принципам циклической экономики. В отличие от нефтехимических пластиков, они не накапливаются в экосистемах, снижая нагрузку на полигоны и минимизируя риски для окружающей среды. Это открывает возможности для их использования в приоритетных областях, чувствительных к экологическим требованиям: от упаковки и сельского хозяйства до биомедицины.

Важным отличием биоразлагаемых полимеров от биодеградируемых является эмиссия углекислого газа в атмосферу при разложении первых, а не распад на мелкие частицы при разложении вторых.

К биоразлагаемым полимерам относят:

- растительные полимеры, используемые самостоятельно;
- растительные полимеры, используемые в смеси с синтетическими полимерами;
- микробные полимеры, получаемые ферментацией сельскохозяйственного сырья;
- мономеры и олигомеры, синтезируемые путем химических процессов или путем ферментации сельскохозяйственного сырья [2].

Ферментация является дорогостоящим процессом, а растительные полимеры, используемые в смеси с синтетическими, не подлежат полному разложению, также образуя микропластик, как и традиционные пластики. Поэтому особый интерес представляют полимеры, созданные на основе природных органических компонентов. Одним из таких веществ, отвечающих принципам безопасности для окружающей среды и здоровья живых организмов и представляющим собой возобновляемый доступный ресурс, является крахмал. Использование чистого крахмала ограничивается затратами на его производство и конкуренцией с продовольственным сектором, что делает целесообразным применение крахмалосодержащих отходов в качестве сырья для производства биоразлагаемых материалов. В качестве потенциальных источников крахмалосодержащих отходов можно рассматривать переработку таких сельскохозяйственных культур, как картофель, кукуруза, пшеница и рис [3].

В данном исследовании в качестве крахмалсодержащего компонента рассматривается отход переработки кукурузы – мезга. Это обоснованно тем, что помимо белков, клетчатки, жиров и минералов в ней достаточно высокое содержание крахмала – до 50 %, а объемы образования позволяют рассматривать данный вторичный ресурс как возобновляемый и доступный [4].

Соответственно, применение кукурузной мезги в качестве основы для производства полимеров решает две ключевые задачи: снижение нагрузки на полигоны захоронения отходов и удешевление производства полимерных материалов различного назначения.

Предлагаемая работа фокусируется на разработке биоразлагаемого материала на основе крахмалосодержащего отхода глубокой переработки кукурузы – кукурузной мезги. При этом акцент сделан на:

- оптимизацию состава за счет включения глицерина и пектина для улучшения эластичности и гидрофобности;
- использование отходов V класса опасности (мезга кукурузы), что снижает себестоимость готового продукта и способствует формированию циркулярной экономики;
- выбор оптимального метода формовки разрабатываемого материала для минимизации дефектов его структуры.

Этот подход позволяет создать конкурентоспособный материал, сочетающий экологичность, низкую стоимость и достаточные механические свойства для применения в пищевой промышленности.

Материалы и методы. Для разработки биоразлагаемого материала на основе кукурузной мезги был подобран следующий состав смеси:

- кукурузная мезга (10,52 %) – основной компонент, обеспечивающий формирование вязкой клейкой основы. Содержащийся в мезге крахмал является природным полимером, который при нагревании в присутствии воды образует вязкую массу, способную к формованию. Данный отход был выбран благодаря его доступности, низкой стоимости и способности к биоразложению;
- вода (78,88 %) – используется для гомогенизации мезги кукурузы. Вода играет ключевую роль в процессе гелеобразования, обеспечивая необходимую пластичность смеси. Количество воды было подобрано экспериментально для достижения оптимальной вязкости;
- глицерин (2,19 %) – пластификатор, улучшающий эластичность и гибкость материала. Глицерин снижает хрупкость и повышает устойчивость к механическим воздействиям, что особенно важно для материалов, используемых в пищевой упаковке и посуде;

- пектин (2,98 %) – связующее вещество, повышающее гидрофобность и прочность материала. Пектин также способствует улучшению адгезии компонентов смеси, что положительно влияет на однородность материала;

- МКЦ (микрокристаллическая целлюлоза) (4,38 %) – наполнитель, придающий материалу дополнительную прочность и улучшающий его биоразлагаемость. МКЦ работает как высокоэффективный армирующий наполнитель, создавая жесткий внутренний каркас, который препятствует деформации и разрушению материала, при этом биоразлагаемость ускоряется на макро- и микробиологическом уровне после того, как материал попадает в окружающую среду, где начинается воздействие воды и микроорганизмов;

- кальций (1,05 %) – добавка, создающая внутри полимера прочный и жесткий минеральный каркас. Также, он активно влияет на сам процесс биоразложения: частицы кальция могут создавать в материале микропоры, ускоряя проникновение воды и распад полимера.

Методика эксперимента. Приготовление пастообразной смеси начинается с создания водяной бани: в ёмкость наливается вода, нагревается до 85 °С, после чего в нее помещается вторая – эмалированная ёмкость для равномерного нагрева смеси и предотвращения прилипания. Далее последовательно добавляются: кукурузная мезга, микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) и кальций. Компоненты тщательно и непрерывно перемешиваются до однородности при постоянной температуре Т = 85 °С в течение 15 минут для завершения гомогенизации. Этот процесс обеспечивает образование вязкой массы с высокой пластичностью.

После охлаждения смеси до 65-70 °С в неё вводится пектин, который перемешивается до равномерного распределения, улучшая механические свойства материала. Далее в смесь вмешивается глицерин, после чего смесь формуется: раскатывается прижимным валом в тонкие гибкие листы для последующего вырезания заготовок или прессуется под давлением в пресс-форме под давлением при 60-70 °С для создания плотных и прочных образцов.

На завершающем этапе заготовки сушатся в конвекционном шкафу при 65 °С в течение 9 часов или с использованием горячего прессования в течение 1,5 часов. Этот этап удаляет избыточную влагу, обеспечивая изделиям окончательную прочность, стабильность и оптимальную влажность, что критически важно для их дальнейшего использования.

Методы анализа. Для определения физико-механических характеристик полученного материала было использовано оборудование ЦКП «Физико-химические методы исследования» Волгоградского государственного технического университета. Для оценки механической прочности использовалась испытательная машина Zwick/Roell 5 kN Zwicki, работающая на разрыв полимерных материалов. Образцы подвергались нагрузке, и показания машины фиксировались в МПа. Исследование прочности образцов на разрыв проводилось под прилагаемым усилием 0,5 Н, что позволило устранить провисание и обеспечить более точные измерения. Прочность материала определялась как максимальное напряжение, которое может выдержать материал до его разрушения (разрыва) согласно ГОСТ 11262-2017.

Также была определена растворимость, для определения которой образцы помещались в воду температурой 20 °С и 80 °С. Время начала и полного растворения фиксировалось визуально. Это позволило оценить устойчивость материала к воздействию воды и его биоразлагаемость. Растворимость является ключевым параметром для биоразлагаемых материалов, так как она определяет скорость их разложения в природных условиях.

Результаты. В ходе эксперимента было установлено, что оптимальное соотношение компонентов для получения биоразлагаемого материала составляет 10,52 % основного вещества – кукурузной мезги – к вязкой основе, а количество пектина и глицерина составило 2,98 % и 2,19 % соответственно. Добавление кальция в количестве 1,05 % повысило прочность материала на 43 %.

При добавлении кукурузной мезги в количестве 10 %, пектина в количестве 2,69 %, глицерина в количестве 2,24 % и формовки методом раскатки образец 1, после сушки в конвекционном шкафу, образовал трещину (рисунок 1).



Рисунок 1 – Образец 1 с содержанием кукурузной мезги в количестве 10 %, пектина – 2,69 %, глицерина – 2,24 % и формовки методом раскатки
Figure 1 – Sample1 with a composition of 10 % corn bran, 2.69 % pectin, 2,24 % glycerol, molded using the rolling method.

При добавлении кукурузной мезги в количестве 10,3 %, пектина в количестве 3,00 %, глицерина – 2,21 %, формовке методом раскатки и сушке в конвекционном шкафу, удалось избежать образования трещин на образцах второй серии (рисунок 2).



Рисунок 2 - Образец 2 с содержанием кукурузной мезги в количестве 10,3 %, пектина – 3,00 %, глицерина – 2,21 % и формовки методом раскатки
Figure 2 – Sample 2 with a composition of 10.3 % corn bran, 3,00 % pectin, 2,21 % glycerol, molded using the rolling method

Также образец 2 был испытан на прочность на разрыв; результаты испытания представлены в таблице 1. График серии образца 2 представлен на рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты испытаний прочности образца 2
Table 1 – Sample 2 strength test results

№ п/п	R_m, МПа	A_t, %	h_0, мм	b_0, мм
1	5,04	0,7	2,16	4,04
2	4,73	1,0		
3	2,64	3,7		
4	4,23	3,1		
	R_mср = 4,16 МПа			

где R_m – значение прочности образца на растяжение, МПа;
A_t, % – величина относительного удлинения образца;
h_0, b_0 – значения толщины и ширины образца соответственно, мм;
R_mср – среднее значение прочности подсерии образцов, МПа.

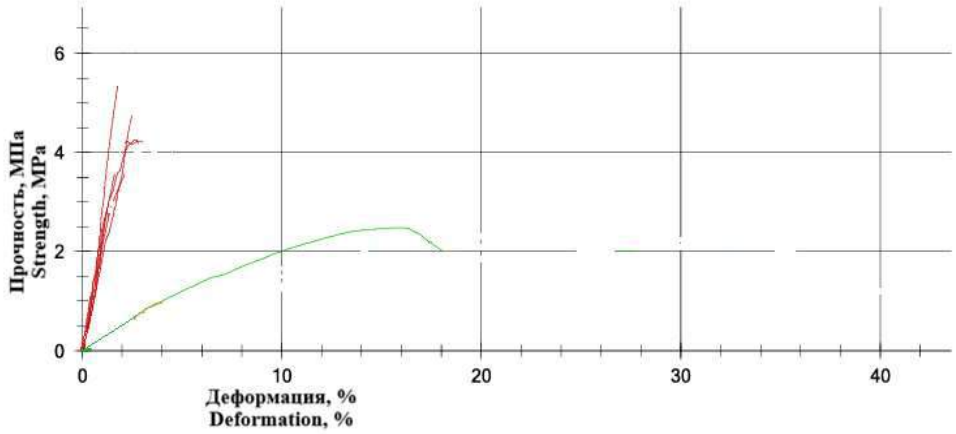


Рисунок 3 – График зависимости деформации от прочности образца 2 с содержанием кукурузной мезги в количестве 10,3 %, пектина – 3,00 %, глицерина – 2,21 % и формовки методом раскатки
Figure 3 – Deformation versus strength graph for a sample 2 with a composition of 10,3 % corn bran, 3,00 % pectin, 2,21 % glycerol, molded using the rolling method

По результатам исследований было определено, что формовка материала методом раскатки и сушка в конвекционном шкафу приводят к деформации изделий.

При добавлении в третий образец 10,6 % кукурузной мезги, 2,2 % глицерина 3,00 % пектина, а также применении формовки и сушки методом горячего прессования, образец 3 получился равномерным по толщине и недеформированным за счет быстрой сушки материала (рисунок 4). Результаты испытаний на прочность материала, из которого были вырублены образцы, представлены в таблице 2. График данной серии представлен на рисунке 5.



Рисунок 4 – Образец 3 с содержанием кукурузной мезги в количестве 10,6 %, пектина – 3,00 %, глицерина – 2,2 % и формовки методом горячего прессования
Figure 4 – Sample 3 with a composition of 10.6 % corn bran, 3,00 % pectin, 2,20 % glycerol, molded using the hot pressing method

Таблица 2 – Результаты испытаний образца 3 на прочность
Table 2 – Sample 3 strength test results

№ п/п	R_m, МПа	A_t, %	h_0, мм	b_0, мм
1	5,72	2,6	2,33	4,04
2	6,41	1,1		
3	6,63	2,4		
4	7,06	1,6		
	R_mср = 6,46 МПа			

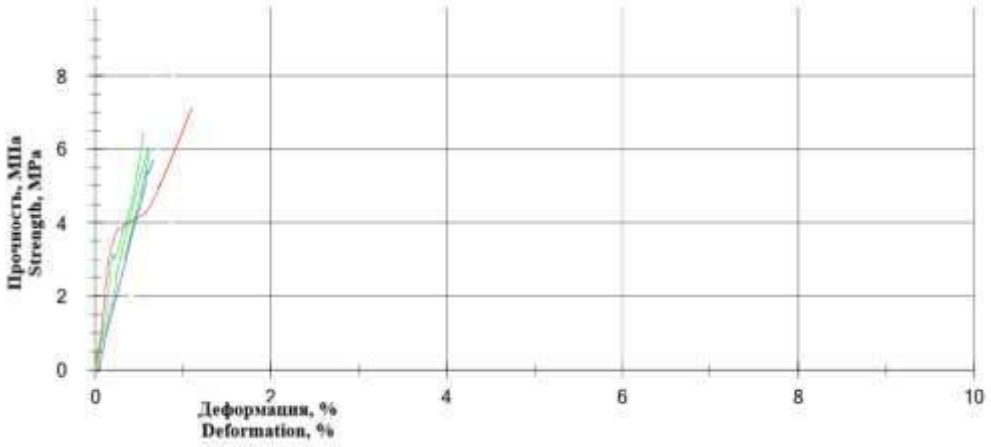


Рисунок 5 – График зависимости деформации от прочности образца 3
с содержанием кукурузной мезги в количестве 10,6 %, пектина – 3,00 %, глицерина – 2,2 %
и формовки методом горячего прессования
Figure 5 – Stress-strain curve for a sample 3 containing 10.6 % corn pulp, 3,00 % pectin, 2,2 % glycerol,
and formed by the hot pressing method

В результате одновременной сушки и формовки методом горячего прессования, прочность образцов возросла по сравнению с предыдущими минимум на 35 %.

В четвертый образец (10,52 % кукурузной мезги, 2,19 % глицерина, 2,98 % пектина, МКЦ – 4,38 %), также был добавлен кальций 1,05 %. При формовке и сушке методом горячего прессования, вырубке образцов для испытаний, представленных на рисунке 6, получены данные, сведенные в таблицу 3. График зависимости деформации от прочности данной серии (четвертой) представлен на рисунке 7.



Рисунок 6 – Образец 4 с содержанием кукурузной мезги в количестве 10,52 %, пектина – 2,98 %,
глицерина – 2,19 %, кальция – 1,05 % и формовки методом горячего прессования
Figure 6 – Sample 4 with a composition of 10,52 % corn bran, 2,98 % pectin, 2,19 % glycerol,
1,05 % calcium, molded using the hot pressing method

Таблица 3 – Результаты испытаний образца 4 на прочность
Table 3 – Sample 4 strength test results

№ п/п	R_m, МПа	A_t, %	h_0, мм	b_0, мм
1	9,98	2,7	0,74	4,04
2	9,37	1,7		
3	9,97	1,0		
4	9,87	1,0		
	R_mср = 9,8 МПа			

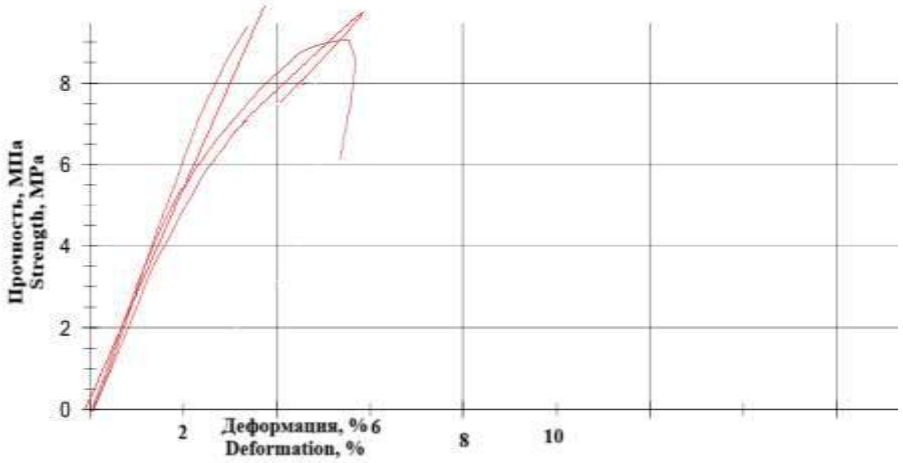


Рисунок 7 – График зависимости деформации от прочности образца 4 с содержанием кукурузной мезги в количестве 10,52 %, пектина – 2,98 %, глицерина – 2,19 %, кальция – 1,05 % и формовки методом горячего прессования
Figure 7 – Deformation versus strength graph for a sample 4 with a composition of 10,52 % corn bran, 2,98 % pectin, 2,19 % glycerol, 1,05 % calcium, molded using the hot pressing method

Полученные данные свидетельствуют о том, что максимальная прочность четвертого образца была достигнута путем добавления кальция к основному составу компонентов, а также совмещением стадии формовки и сушки с помощью горячего прессования.

Прессование обеспечивает более плотную структуру материала, что приводит к увеличению прочности до 9,8 МПа.

Таблица 4 – Сравнение методов формования
Table 4 – Comparison of Molding Methods

Метод / Method	Раскатка прижимным валом / Rolling with a pressure roller	Горячее прессование / Hot pressing	Горячее прессование с добавлением кальция / Hot pressing with calcium additive
Влажность, % / Moisture, %	6,4±0,02	6,25±0,1	6,2±0,05
Прочность, Мпа / Strength, MPa	4,16	6,46	9,8
Механическая прочность / Mechanical strength	Устойчив к механическим воздействиям / Resistant to mechanical stress		
Растворимость в воде, мин / Water solubility, min	Начало растворения через 7 минут, полное растворение – через 23 минуты / Dissolution begins after 7 minutes, and complete dissolution occurs after 23 minutes	Начало растворения через 37 минут, полное растворение – через 70 минут / Dissolution begins after 37 minutes, and complete dissolution occurs after 70 minutes	Начало растворения через 50 минут, полное растворение – через 137 минут / Dissolution begins after 50 minutes, and complete dissolution occurs after 137 minutes
Растворимость в горячей воде, мин / Solubility in hot water, min	Полное растворение через 10 минут / Complete dissolution in 10 minutes	Полное растворение через 15 минут / Complete dissolution in 15 minutes	Полное растворение через 17 минут / Complete dissolution in 17 minutes

Полученный материал обладает характеристиками, представленными в таблице 5, но его свойства будут меняться в зависимости от процентного соотношения добавляемых компонентов, а также сырьевой матрицы в целом [5-6]. Экспериментально определено – чем выше гибкость материала, тем ниже его прочность, и наоборот. Для повышения прочности необходимо ввести в сырьевую смесь компонентов глину, лигнин, растительные волокна [7-10]. В нашем случае, для повышения прочности были использованы МКЦ и кальций. Это делает его конкурентоспособным для использования в различных отраслях промышленности.

Таблица 5 – Параметры полученного материала
Table 5 – Parameters of the obtained material

Параметр / Parameter	Образец 4 / Sample 4
Влажность, % / Moisture, %	6,2±0,05
Прочность, Мпа / Strength, MPa	9,8
Растворимость в воде, мин / Water solubility, min	50
Растворимость в горячей воде, мин / Solubility in hot water, min	17

Обсуждение. Разработанный биоразлагаемый композиционный материал (образец 4) на основе отхода глубокой переработки кукурузы – кукурузной мезги – демонстрирует ряд существенных достоинств, что позволяет рассматривать его как альтернативу традиционным полимерным материалам при производстве одноразовой посуды и упаковки.

1. Использование отхода производства в качестве вторичного материального ресурса: для создания биоразлагаемого полимера использовалась кукурузная мезга, являющаяся отходом глубокой переработки кукурузы при производстве кукурузного крахмала и патоки. Помимо рационального использования отходов, это приводит к снижению себестоимости производства.

2. Экологическая безопасность: существенным преимуществом созданного материала является его способность к полному биоразложению без образования частиц микропластика, что значительно снижает экологическую нагрузку, связанную с загрязнением окружающей среды.

3. Высокие физико-механические характеристики: экспериментальными исследованиями подтверждено, что материал, полученный методом горячего прессования с добавлением в состав порошка кальция, обладает прочностью в среднем 9,8 МПа, что значительно превышает прочность аналогичных материалов, полученных методом раскатки (4,16 МПа) и горячим прессованием без модификации порошком кальция (6,46 МПа). Также формовка и сушка материала методом горячего прессования позволили повысить гидрофобность материала за счет получения более плотной кристаллической решетки композита.

Разработанный биоразлагаемый полимерный материал на основе кукурузной мезги представляет собой перспективный аналог для замены традиционных синтетических полимеров за счет полученных высоких физико-механических характеристик, экологической безопасности и возможности использования отходов производства в качестве вторичного материального ресурса, а также других природных компонентов, что делает его экологически чистым. Полученный полимер может быть использован для производства одноразовой посуды и упаковки.

Заключение. В результате проведенных исследований установлены ключевые параметры разработки биоразлагаемого полимерного материала на основе отхода глубокой переработки кукурузы – кукурузной мезги. Оптимальным составом материала является следующее соотношение компонентов: кукурузная мезга – 10,52 %, вода – 78,88 %, глицерин – 2,19 %, пектин – 2,98 %, МКЦ – 4,38 %, кальций – 1,05 %. Экспериментально подтверждено, что метод горячего прессования с первичным добавлением порошка кальция в состав композита обеспечивает прочность 9,8 МПа, что на 34,1 % превышает аналогичный показатель для образцов, сформованных и высушенных методом горячего прессования, но без добавления порошка кальция в исходный состав, и на 57,5 % – для образцов, полученных методом раскатки прижимным валом.

Научная значимость работы заключается в разработке полимерного материала, сочетающего свойства биоразлагаемости с высокими эксплуатационными характеристиками. Использование кукурузной мезги в качестве вторичного материального ресурса решает следующие задачи:

1. Снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду за счет использования отходов сельскохозяйственного производства (V класс опасности) и, вследствие этого, уменьшения образования отходов пластика и миграции микропластика в пищевые цепи.

2. Снижение зависимости от ископаемых ресурсов, так как предлагаемый материал создан на основе природных возобновляемых компонентов.

Разработанный биоразлагаемый материал демонстрирует высокий потенциал для замены синтетических полимеров во многих отраслях промышленности. Его внедрение способствует снижению углеродного следа и решению проблемы пластикового загрязнения [11-12].

Conclusion. The research conducted has established the key parameters for developing a biodegradable polymer material based on a corn deep-processing waste product – corn pulp (corn fiber). The optimal material composition is the following ratio of components: corn pulp – 10,52 %, water – 78,88 %, glycerol – 2,19 %, pectin – 2,98 %, MCC (microcrystalline cellulose) – 4,38 %, calcium – 1,05 %. It has been experimentally confirmed that the hot pressing method with the primary addition of calcium powder to the composite formulation provides a tensile strength of 9,8 MPa. This exceeds the corresponding parameter for samples formed and dried by hot pressing but without adding calcium powder to the initial composition by 34,1 %, and for samples obtained by the roll pressing method by 57,5 %.

The scientific significance of the work lies in the development of a polymer material that combines biodegradability with high performance characteristics. The use of corn pulp as a secondary material resource addresses the following objectives:

1. Reducing the anthropogenic load on the environment by utilizing agricultural production waste (hazard class V) and, consequently, reducing plastic waste generation and the migration of microp lastics into the food chain.

2. The reducing of the dependence on fossil resources, as the proposed material is created from natural renewable components.

The developed biodegradable material demonstrates high potential for replacing synthetic polymers in many industries. Its implementation contributes to reducing the carbon footprint and addressing the problem of plastic pollution.

Библиографический список

1. Сизова Е. Н. Микропластик как загрязнитель окружающей среды, его влияние на здоровье человека: монография. Киров: ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России. 2024. 82 с.
2. Копылова Е. В., Вербицкий С. Б., Козаченко О. Б., Пацера Н. Н. Применение биоупаковки как способ повышения экологичности пищевых производств. Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Национальная (всероссийская) научно-практическая конференция. 2021. Т. 2. № 12. С. 10-14.
3. Priya B., Gupta K., Pathania D., Singha A. Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. Carbohydrate Polymers. 2014. Vol. 109. Pp. 171-179.
4. Набизаде А. С., Картушина Ю. Н. Исследование возможности производства биоразлагаемых материалов пищевого назначения из отходов растениеводства (Мезга кукурузная). Устойчивое технологическое развитие аграрно-пищевых систем – гарантия продовольственной безопасности: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Москва: ООО "Сфера", 2025. С. 195-200.
5. Kwon S. S., Kong B. J., Park S. N. Physicochemical properties of pH-sensitive hydrogels based on hydroxyethyl cellulose-hyaluronic acid and for applications as transdermal delivery systems for skin lesions. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2015. Vol. 92. Pp. 146-154.
6. Salarbashi D. et al. Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated Zataria multiflora Boiss and Mentha pulegium essential oils. Food Chemistry. 2014. Vol. 146. Pp. 614-622.
7. Wilhelm H. M., Sierakowski M. R., Souza G. P., Wypych F. Starch films reinforced with mineral clay. Carbohydrate Polymers. 2003. Vol. 52. № 2. Pp. 101-110.
8. Carr L. G., Parra D. F., Ponce P., Lugao A. B., Buchler P. M. Influence of fibers on the mechanical properties of cassava starch foams. Journal of Polymers and the Environment. 2006. Vol. 14. № 2. Pp. 179-183.
9. Puccini M., Seggiani M., Vitolo S. Polyethylene and hydrolyzed collagen blend films produced by blown extrusion. Chemical Engineering Transactions. 2015. Vol. 43. Pp. 1705-1710.
10. Samal S. K., Fernandes E. G., Corti A., Chiellini E. Bio-based polyethylene-lignin composites containing a pro-oxidant/pro degradant additive: preparation and characterization. Journal of Polymers and the Environment. 2014. Vol. 22. № 1. Pp. 58-68.
11. Петров А. В., Сидорова И. Н. Биоразлагаемые полимеры: современное состояние и перспективы. Вестник науки и образования. 2021. № 2. С. 45-50.
12. Громова Т. А., Лебедева Н. А. Применение биоразлагаемых упаковочных материалов в пищевой промышленности. Проблемы экологии и безопасности. 2020. Т. 5. № 3. С. 112-118.

References

1. Sizova E. N. Microplastics as an environmental pollutant, its impact on human health: monograph. Kirov: Kirov State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2024. 82 p.
2. Kopylova E. V., Verbitsky S. B., Kozachenko O. B., Patera N. N. Use of bio-packaging as a method to increase the environmental friendliness of food production. Natural Resources, Their Current State, Protection, Commercial and Technical Use: National (All-Russian) Scientific and Practical Conference. 2021. Vol. 2. № 12. Pp. 10-14.
3. Priya B., Gupta K, Pathania D., Singha A. Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. Carbohydrate Polymers. 2014. Vol. 109. Pp. 171-179.
4. Nabizade A. S., Kartushina Y. N. Study of the possibility of producing biodegradable food-grade materials from crop residues (Corn Pulp). Sustainable technological development of agrarian and food systems – a guarantee of food security: collection of materials of the International scientific and practical conference. Moscow: Sfera, 2025. Pp. 195-200.

5. Kwon S. S., Kong B. J., Park S. N. Physicochemical properties of pH-sensitive hydrogels based on hydroxyethyl cellulose-hyaluronic acid and for applications as transdermal delivery systems for skin lesions. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2015. Vol. 92. Pp. 146-154.
6. Salarbashi D. et al. Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated Zataria multiflora Boiss and Mentha pulegium essential oils. Food Chemistry. 2014. Vol. 146. Pp. 614-622.
7. Wilhelm H. M., Sierakowski M. R., Souza G. P., Wypych F. Starch films reinforced with mineral clay. Carbohydrate Polymers. 2003. Vol. 52. No 2. Pp. 101-110.
8. Carr L. G., Parra D. F., Ponce P., Lugao A. B., Buchler P. M. Influence of fibers on the mechanical properties of cassava starch foams. Journal of Polymers and the Environment. 2006. Vol. 14. No 2. Pp. 179-183.
9. Puccini M., Seggiani M., Vitolo S. Polyethylene and hydrolyzed collagen blend films produced by blown extrusion. Chemical Engineering Transactions. 2015. Vol. 43. Pp. 1705-1710.
10. Samal S. K., Fernandes E. G., Corti A., Chiellini E. Bio-based polyethylene-lignin composites containing a pro-oxidant/pro degradant additive: preparation and characterization. Journal of Polymers and the Environment. 2014. Vol. 22. No 1. Pp. 58-68.
11. Petrov A. V., Sidorova I. N. Biodegradable polymers: current state and prospects. Bulletin of Science and Education. 2021. № 2. Pp. 45-50.
12. Gromova T. A., Lebedeva N. A. Application of biodegradable packaging materials in the food industry. Problems of Ecology and Safety. 2020. V. 5. № 3. Pp. 112-118.

Информация об авторах
Картушина Юлия Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: kartysina@rambler.ru
Храмова Валентина Николаевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: hramova_vn@mail.ru
Набизаде Амина Салеховна, соискатель, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), e-mail: nabi.amina_02@mail.ru
Authors' Information
Kartushina Yuliya Nikolaevna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: kartysina@rambler.ru
Khramova Valentina Nikolaevna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: hramova_vn@mail.ru
Nabizade Amina Salehovna, applicant, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd V. I. Lenin Ave., 28), e-mail: nabi.amina_02@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-73

THE CONTINUOUS MONITORING OF THE GRAPE MUST FERMENTATION PROCESS BASED ON THE DIELECTRIC RESPONSE

Obukhov P. S., Martynov V. V.

Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vimartmvv@mail.ru

Received 03.03.2026 Submitted 15.05.2026

Summary
The article presents the results of a study of the dielectric properties of model grape must depending on the concentrations of ethyl alcohol and sucrose. Regression models relating dielectric parameters to the solution composition were constructed, and an iterative inverse recalculation algorithm was developed, enabling simultaneous determination of component concentrations with errors not exceeding 1.2 % for alcohol and 0.4 % for sucrose. The obtained results provide a basis for the development of continuous real-time monitoring systems for the fermentation process.

Abstract
Introduction. Real-time monitoring of the alcoholic fermentation of grape must is a key task in winemaking, directly determining the quality of the final product. Conventional discrete laboratory analysis methods do not allow continuous monitoring without disrupting the integrity of the technological system, which drives the development of rapid methods based on measuring the physical properties of the medium. Dielectric methods, sensitive to the polar properties of solutions, represent a promising approach for the simultaneous determination of ethyl alcohol and sugar concentrations during fermentation. **Object.** The object of study is a model multicomponent liquid system simulating grape must during alcoholic fermentation, consisting of aqueous-alcoholic sucrose solutions with an ethyl alcohol volume fraction of 0-20 % and a sucrose mass concentration of 0-20 g/l. **Materials and methods.** The study was carried out according to a full factorial experimental design with three variation levels for each factor. The dielectric parameters of the solutions (dielectric permittivity and dielectric loss tangent) were measured using a stationary research setup based on an E7-20 immittance meter at a frequency of 1 kHz and a temperature of $(20 \pm 1)°C$. A second-order

polynomial model was used to describe the experimental relationships. The determination of component concentrations from the measured dielectric parameters was carried out using an iterative numerical method. **Results and conclusion.** It was established that increasing the volumetric fraction of alcohol from 0 to 20 % leads to a decrease in the dielectric permittivity of the solution by more than 17 % (from 78.6 to 64.7), while the dielectric loss tangent increases from 0.155 to 0.186 under the influence of both components. The developed regression models are characterized by high coefficients of determination ($R_\varepsilon^2 = 0.93$; $R_D^2 = 0.99$), indicating good agreement with the experimental data and their suitability for practical application. Verification of the inverse calculation algorithm for three test compositions demonstrated stable convergence within 5-6 iterations, with absolute reconstruction errors not exceeding 0.044 % for alcohol concentration and 0.021 g/L for sugar concentration. The obtained results indicate that the dielectric method, combined with the developed mathematical model, enables simultaneous determination of ethanol and sucrose concentrations in water-alcohol solutions with high accuracy and can serve as a basis for the development of continuous monitoring systems for the fermentation process.

Keywords: *grape must, alcoholic fermentation, dielectric parameters, ethyl alcohol, sucrose, regression model, continuous monitoring.*

Citation. Obukhov P. S., Martynov V. V. The continuous monitoring of the grape must fermentation process based on the dielectric response. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 4(88). 662-671 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-73.
Reviewing. Review Information. The Proceedings of the NV AUC journal's editorial board expresses its gratitude to the anonymous reviewers for their contribution to the review process.
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 663.25+621.317.33

НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА БРОЖЕНИЯ ВИНОГРАДНОГО СУСЛА НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА

Обухов П. С., *кандидат технических наук, заведующий кафедрой*
Мартынов В. В., *преподаватель*

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. Мониторинг процесса спиртового брожения виноградного сусла является ключевой задачей винодельческого производства, определяющей качество готового продукта. Традиционные дискретные лабораторные методы анализа не обеспечивают непрерывного мониторинга в режиме реального времени без нарушения герметичности технологической системы, что стимулирует развитие экспресс-методов, основанных на измерении физических свойств среды. Диэлектрические методы, чувствительные к полярным свойствам раствора, представляют перспективное направление для одновременного определения концентраций этилового спирта и сахара в процессе брожения. **Объект.** Объектом исследований является модельная многокомпонентная жидкая система, имитирующая виноградное сусло в процессе спиртового брожения и представляющая собой водно-спиртовые растворы сахарозы с объемной долей этилового спирта 0-20 % и массовой концентрацией сахарозы 0-20 г/л. **Материалы и методы.** Исследование проводилось по плану полного факторного эксперимента с тремя уровнями варьирования каждого фактора. Диэлектрические параметры растворов (диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь) регистрировались с помощью стационарного исследовательского стенда на основе измерителя иммитанса Е7-20 на частоте 1 кГц при температуре (20 ± 1 °C). Для описания экспериментальных зависимостей использовалась полиноминальная модель второго порядка. Определение концентраций компонентов по измеренным диэлектрическим параметрам осуществлялось итерационно-численным методом. **Результаты и выводы.** Установлено, что увеличение объемной доли спирта от 0 до 20 % приводит к снижению диэлектрической проницаемости раствора более чем на 17 % (с 78,6 до 64,7), тогда как тангенс угла потерь возрастает от 0,155 до 0,186 (20 %) под влиянием обоих компонентов. Регрессионная модель характеризуется высоким коэффициентом детерминации ($R_\varepsilon^2 = 0{,}93$; $R_D^2 = 0{,}99$), что подтверждает ее адекватность и пригодность для практического применения. Верификация алгоритма обратного пересчета для трех тестовых составов показала устойчивую сходимость за 5-6 итераций с погрешностями для спирта не более 0,044 % и для сахара не более 0,021 г/л. Полученные результаты показывают, что диэлектрический метод в сочетании с математической моделью обеспечивает одновременное определение концентраций этилового спирта и сахарозы с высокой точностью и может быть использован как основа для построения систем непрерывного мониторинга процесса брожения.

Ключевые слова: *виноградное сусло, спиртовое брожение, диэлектрические параметры, этиловый спирт, сахароза, регрессионные модели, непрерывный мониторинг.*

Цитирование. Обухов П. С., Мартынов В. В. Непрерывный мониторинг процесса брожения виноградного сусла на основе диэлектрического отклика. *Известия НВ АУК*. 2026. 4(88). 662-671. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-04-73.
Рецензирование. Информация о рецензировании. Редакция журнала Известия НВ АУК выражает благодарность анонимным рецензентам за их вклад в рецензирование данной работы.
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. Современные тенденции развития автоматизированных систем управления технологическими процессами в агропромышленном комплексе ориентированы на внедрение встроенных измерительных средств, обеспечивающих получение информации о состоянии среды в реальном времени без нарушения герметичности системы и разрушения исследуемых образцов [1]. В этом контексте использование классических дискретных лабораторных методов анализа оказывается методически и технологически ограниченным, что стимулирует развитие экспресс-методов контроля, основанных на измерении физических свойств исследуемой среды [2-4].

Процесс спиртового брожения виноградного сусла является ключевым этапом винодельческого производства и в значительной степени определяет физико-химические и органолептические характеристики готового продукта [3, 4]. Отсутствие своевременного контроля за данным процессом, может привести, например, к преждевременному затуханию брожения вследствие угнетения дрожжей этиловым спиртом или к неполному сбраживанию сахаров [5, 6], что обуславливает необходимость его оперативного контроля.

На этом фоне особый интерес представляют диэлектрические методы, основанные на измерении диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь. Методы чувствительны к составу среды и успешно применяются для идентификации веществ и материалов [7, 8]. В литературе представлены исследования, посвящённые применению диэлектрических методов для анализа спиртовых и сахаросодержащих растворов [9, 10]. Однако упрощённые корреляционные зависимости между отдельными диэлектрическими параметрами и концентрацией одного компонента не учитывают одновременное влияние сахара и спирта на диэлектрический отклик среды. Отсутствие формализованных математических моделей, обеспечивающих совместное определение концентраций компонентов, существенно ограничивает точность контроля и возможности практического применения диэлектрических методов в системах непрерывного мониторинга.

В связи с этим актуальной является задача исследования диэлектрических характеристик модельного виноградного сусла, представляющего собой контролируемую водно-спирто-сахарную систему, и разработка математической модели, описывающей зависимость диэлектрического отклика от состава среды. Использование модельной системы позволяет исключить влияние вторичных факторов, характерных для натурального сусла, и сосредоточиться на анализе фундаментальных закономерностей формирования диэлектрических свойств.

Целью настоящего исследования является разработка и верификация метода восстановления состава модельной водно-спирто-сахарсодержащей среды на основе измерения диэлектрических параметров модельного виноградного сусла, а также обоснование возможности определения концентраций сахара и этилового спирта с использованием математической модели обратного пересчёта.

Материалы и методы. Объектом исследования является модельная многокомпонентная жидкая система, имитирующая виноградное сусло в процессе спиртового брожения, представляющая собой водно-спиртовые растворы сахарозы. Объемная доля этилового спирта и массовая концентрация сахарозы подобраны с учетом типичного диапазона изменения состава сусла при брожении. В виноградном сусле углеводный комплекс представлен преимущественно глюкозой и фруктозой, а также сопутствующими органическими веществами, влияющими на диэлектрические свойства среды. В настоящем исследовании в качестве модельного компонента использовалась сахароза как стабильный модельный углеводный компонент.

Исследование проводилось по плану полного факторного эксперимента с тремя уровнями варьирования каждого фактора. Натуральные значения факторов и соответствующие им кодированные уровни представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Диапазоны варьирования факторов эксперимента
Table 1 – Factor variation ranges for experimental

Фактор / Factor	Обозначение / Denotation	Уровень -1 / Level -1	Уровень 0 / Level 0	Уровень +1 / Level +1	Интервал варьирования / Variation interval
Объемная доля этилового спирта, % / Volumetric fraction of ethyl alcohol, %	X_1	0	10	20	10
Массовая концентрация сахарозы, г/л / Mass concentration of sucrose, g/l	X_2	0	10	20	10

Растворы готовили путём последовательного растворения расчётного количества сахарозы в дистиллированной воде с последующим добавлением ректификованного этилового спирта (96 %). Масса сахарозы определялась путем взвешивания на аналитических весах с погрешностью не более ± 0,01 г. Объём спирта дозировали мерной лабораторной посудой. После приготовления растворы перемешивали магнитной мешалкой до полного растворения компонентов и выдерживали в течение 20 мин. для установления термодинамического равновесия.

Предметом исследований являются зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь от концентрации этилового спирта и сахарозы. Для реализации экспериментальных исследований была разработана измерительно-аналитическая установка, позволяющая регистрировать диэлектрические параметры жидких многокомпонентных систем в условиях, моделирующих технологический процесс брожения. Структура установки представлена на рисунке 1.

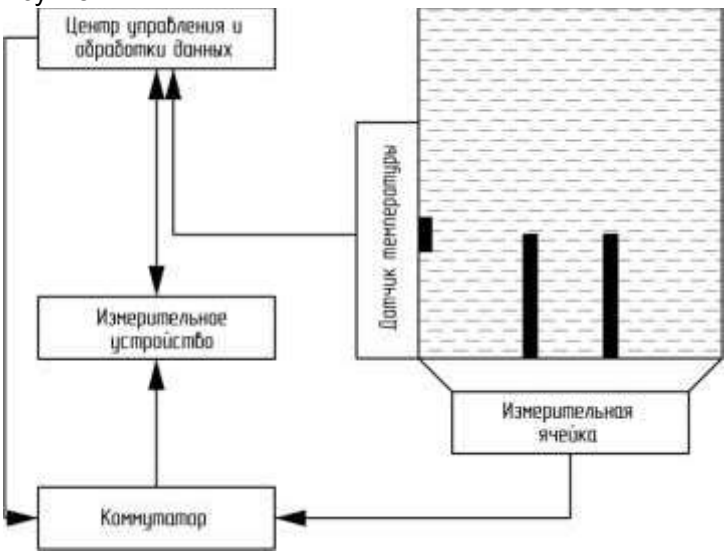


Рисунок 1 – Структура измерительно-аналитической установки
Figure 1 – Structure of the measuring and analytical installation

В состав установки входят:

- измеритель иммитанса Е7-20 – прецизионный прибор класса точности 0,1, применяемый для измерения электрических параметров при синусоидальном напряжении 1 В и частоте 1 кГц. Выбор фиксированной частоты обусловлен ориентацией на реализацию встроенных измерительных средств;
- измерительная ячейка, состоящая из двух электродов известной геометрии и имеющая функционал плоского конденсатора. Медные электроды покрыты специальным лаком для предотвращения химического взаимодействия с жидкой средой. Площадь рабочей поверхности электродов составляла 50 мм^2, а расстояние между ними 3 мм;
- датчик температуры для обеспечения стабильности температурного режима. Измерения проводились при температуре (20 ± 1) ℃;
- центр управления и обработки данных – персональный компьютер, программный модуль которого обеспечивал сохранение результатов измерений в SQL-базу данных, расчет диэлектрических параметров, визуализацию в ПП Matlab;
- промышленный интерфейс RS-232 для обеспечения передачи команд и данных.

Работа измерительно-аналитической установки основана на регистрации электрических параметров измерительной ячейки, заполненной исследуемым раствором и последующем вычислении диэлектрических характеристик среды по результатам измерений. Алгоритм вычисления диэлектрических параметров основывался на представлении измерительной ячейки в виде плоского конденсатора, емкость которого определяется выражением [11, 12]:

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d} \quad (1)$$

где C_0 – теоретическая емкость плоского конденсатора в вакууме, Ф; ε_0 – электрическая постоянная; ε – относительная диэлектрическая проницаемость исследуемой среды; S – площадь электродов, м^2; d – расстояние между электродами, м.

Относительная диэлектрическая проницаемость раствора определялась по измеренному значению электрической емкости с учетом компенсации краевых эффектов ячейки:

$$C_{\text{ик}} = C_{\text{и}} \cdot \left(1 + \frac{d}{\sqrt{S}}\right)^{-1} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\text{и}} = \frac{C_{\text{ик}}}{C_0} \quad (3)$$

где $C_{\text{ик}}$ – электрическая емкость измерительной ячейки в исследуемой среде с учетом компенсации краевых эффектов, Ф; $C_{\text{и}}$ – электрическая емкость измерительной ячейки в исследуемой среде, Ф; $\varepsilon_{\text{и}}$ – относительная диэлектрическая проницаемость раствора.

Тангенс угла потерь рассчитывался на основании параметров комплексного сопротивления ячейки. При использовании параллельной схемы замещения величина тангенса угла потерь определялась выражением [11, 12]:

$$D_{\text{и}} = \frac{1}{\omega C_{\text{ик}} R_{\text{и}}} \quad (4)$$

где $D_{\text{и}} = \tan\delta$ – тангенс угла потерь; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота измерительного сигнала, рад/с; f – частота измерений, Гц; $R_{\text{и}}$ – активное сопротивление измерительной ячейки в исследуемом растворе, Ом.

Аппроксимация экспериментальных данных выполнялась с использованием полиномиальной модели второго порядка:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 \quad (5)$$

где Y – отклик системы; b_i – коэффициенты регрессии.

Выбор квадратичной регрессионной зависимости обусловлен необходимостью учёта нелинейного влияния факторов и их взаимодействия.

Первичная обработка данных включала вычисление средних значений и стандартных отклонений для каждого опыта по пяти повторениям. Оценка качества аппроксимации производилась с использованием коэффициента детерминации R^2. Статистическая значимость коэффициентов регрессионных моделей оценивалась по критерию Стьюдента при уровне значимости 0,05.

Для применения модели в системе непрерывного контроля процесса брожения была сформулирована обратная задача – определение массовой концентрации сахарозы и объемной доли спирта по измеренным диэлектрическим параметрам, для чего использовался итерационный метод Гаусса-Ньютона, основанный на минимизации функции невязки:

$$\Phi(X_1, X_2) = [\varepsilon_{\text{и}} - \varepsilon(X_1, X_2)]^2 + [D_{\text{и}} - D(X_1, X_2)]^2 \quad (6)$$

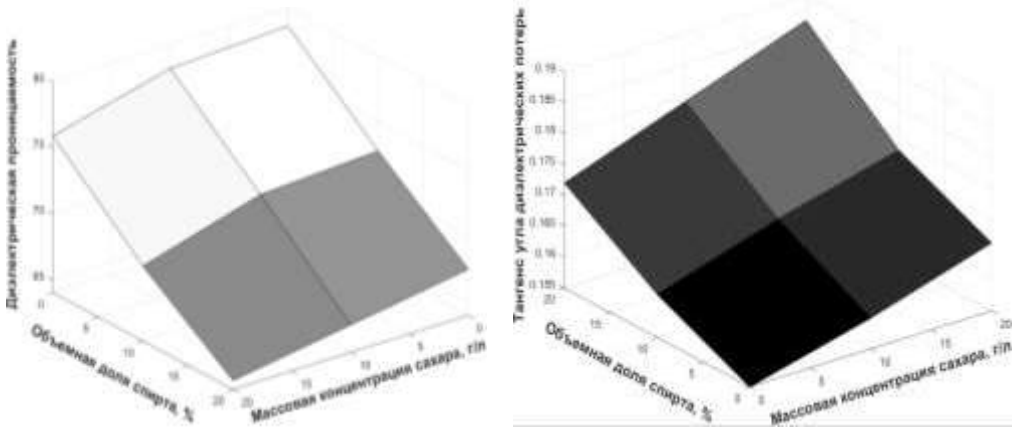
Минимум функции (6) находится по направлению антиградиента с использованием матрицы Якоби:

$$\Delta X = -(J^T \cdot J)^{-1} \cdot J^T (Y_{\text{и}} - Y_{\text{м}}) \quad (7)$$

где $J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_1} & \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_2} \\ \frac{\partial D}{\partial X_1} & \frac{\partial D}{\partial X_2} \end{bmatrix}$ – матрица частных производных регрессионной модели по факторам; $Y_{\text{и}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{\text{изм}} \\ D_{\text{изм}} \end{bmatrix}$ и $Y_{\text{м}} = \begin{bmatrix} \varepsilon(X_1, X_2) \\ D(X_1, X_2) \end{bmatrix}$ – векторы измеренных и модельных значений отклика.

Итерационный процесс прекращался либо при выполнении условия достижения заданной точности восстановления параметров либо при достижении максимального числа итераций.

Результаты и обсуждение. В результате проведения полного факторного эксперимента при температуре $(20 \pm 1\ ℃)$ по выражениям (1) – (4) были определены значения относительной диэлектрической проницаемости ε (рисунок 2а) и тангенса угла потерь D (рисунок 2б) модельных растворов при различных сочетаниях объемной доли этилового спирта X_1 и массовой концентрации сахара X_2. Среднеквадратичное отклонение составило не более 0,4 % для ε и 1,5 % для D, что свидетельствует о достаточной чувствительности измерительной установки к вариациям состава среды.



а б

Рисунок 2 – Зависимость диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла потерь (б) от объемной доли спирта и массовой концентрации сахара в растворе
Figure 2 – Dependence of dielectric permittivity (a) and dielectric loss tangent (b) on the volume fraction of alcohol and mass concentration of sugar in the solution

Анализ полученных поверхностей (рисунок 2а) показывает, что доминирующее влияние на диэлектрическую проницаемость оказывает концентрация этилового спирта. С увеличением объемной доли спирта наблюдается монотонное снижение ε, что обуславливается существенно меньшей диэлектрической проницаемостью по сравнению с водой. В исследованном диапазоне концентраций влияние сахара на диэлектрическую проницаемость оказалось статистически незначимым. В отличие от ε, тангенс угла потерь D (рисунок 2б) демонстрирует чувствительность как к концентрации спирта, так и к содержанию сахара. Увеличение концентрации сахара сопровождается ростом D, что связано с усилением релаксационных потерь вследствие увеличения вязкости раствора.

С помощью МНК получены коэффициенты регрессионной модели (5) и определена их статистическая значимость. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка коэффициентов регрессионной модели
Table 2 – Estimation of regression model coefficients

Коэффициент / Coefficient	Обозначение / Designation	$\varepsilon(X_1, X_2)$		$D(X_1, X_2)$	
		значение / implication	*p*	значение / implication	*p*
Свободный член / Free term	b_0	78.75	0	0.1551	0
Линейный по X_1 / Linear in X_1	b_1	-0.6175	0.002	0.0005	0.016
Линейный по X_2 / Linear in X_2	b_2	-0.0075	0.912	0.0005	0.011
Взаимодействие X_1X_2 / Interaction X_1 X_2	b_{12}	-0.0003	0.909	0.00004	0.088
Квадратичный по X_1 / Quadratic in X_1	b_{11}	0.0023	0.473	0.00002	0.018
Квадратичный по X_2 / Quadratic in X_2	b_{22}	-0.0067	0.101	0.00004	1
Коэффициент детерминации / Determination coefficient	R^2	0.99		0.99	
Статистически значимые коэффициенты / Statistically significant coefficients		b_0, b_1		b_0, b_1, b_2, b_{11}	

Высокие значения коэффициентов детерминации R^2 и статистическая значимость коэффициентов регрессии подтверждают адекватность построенных моделей в пределах исследованного диапазона факторов. После исключения статистически незначимых коэффициентов (p > 0,05) были получены следующие выражения:

$$\begin{cases} \varepsilon(X_1, X_2) = 77.4889 - 0.5733X_1 \\ D(X_1, X_2) = 0.1543 + 0.0005X_1 + 0.0006X_2 + 0.00002X_1^2 \end{cases} \quad (8)$$

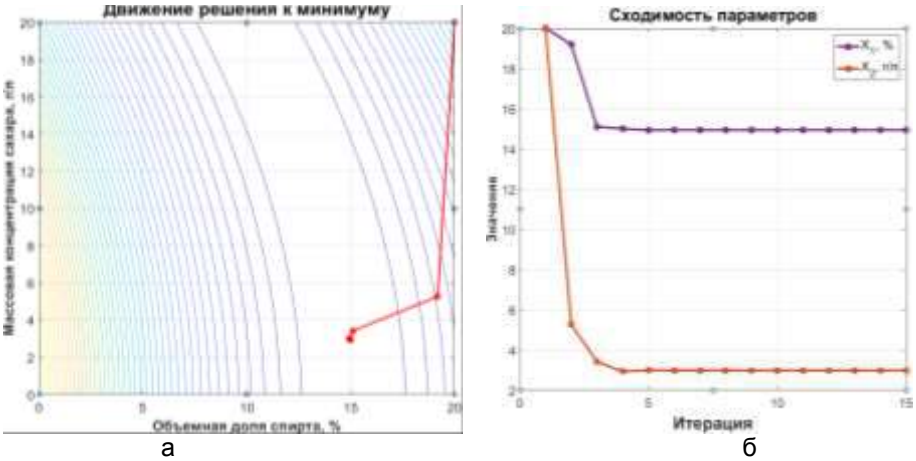
которые адекватно описывают экспериментальные данные:

– для $\varepsilon(X_1, X_2)$ коэффициент детерминации $R_\varepsilon^2 = 0{,}93$;
– для $D(X_1, X_2)$ коэффициент детерминации $R_D^2 = 0{,}99$.

Модель (8) позволяет не только прогнозировать значения диэлектрических параметров раствора по известным концентрациям $(X_1, X_2) \rightarrow (\varepsilon, D)$, но и решать обратную задачу – определять состав раствора по измеренным значениям $(\varepsilon_{\text{изм}}, D_{\text{изм}}) \rightarrow (X_1, X_2)$. Для рассматриваемой модели матрица частных производных имеет вид:

$$J = \begin{bmatrix} -0.5733 & 0 \\ 0.0005 + 0.00004X_1 & 0.0006 \end{bmatrix} \quad (9)$$

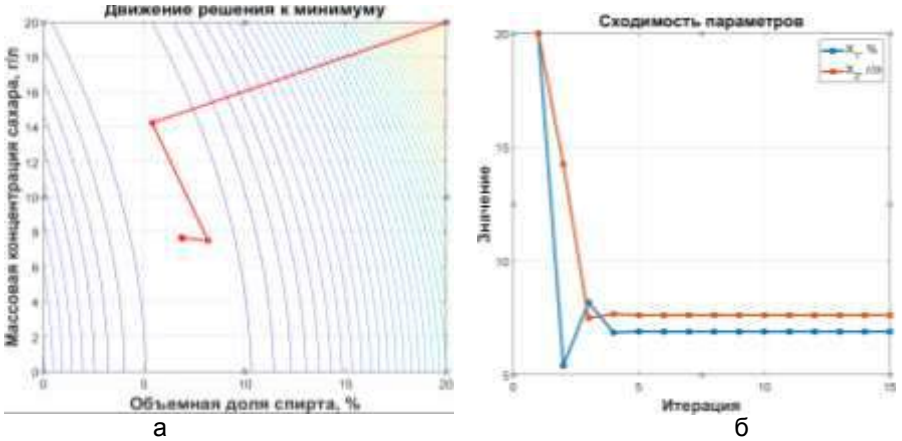
Каждая итерация пересчета факторов выполняется по выражению $\begin{bmatrix} X_1^{(k+1)} \\ X_2^{(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1^{(k)} \\ X_2^{(k)} \end{bmatrix} + \Delta X^{(k)}$ до выполнения условия сходимости $\left\| Y_{\text{изм}} - Y_{\text{мод}} \right\| - \leq \varepsilon_t$, где ε_t – порог точности.



а б

Рисунок 3 – Контурная карта функции невязки (а) и график сходимости параметров (б) при $X_1 = 15\%$ и $X_2 = 3$ г/л

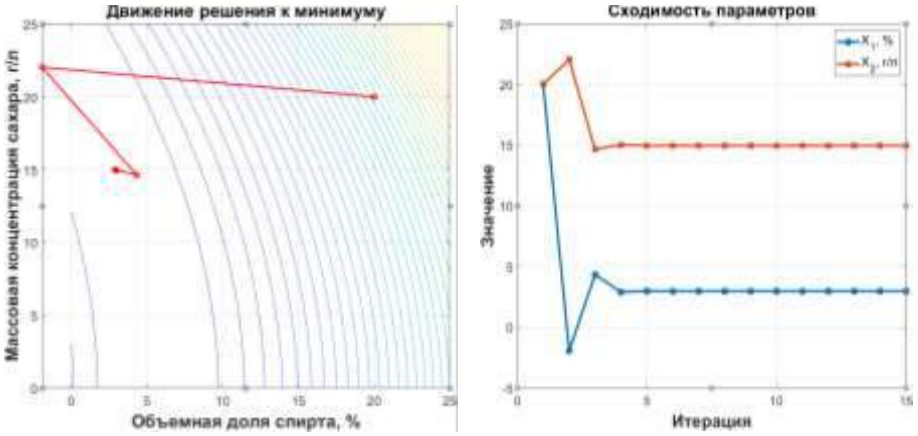
Figure 3 – Contour map of the residual function (a) and parameter convergence graph (b) at $X_1 = 15\%$ and $X_2 = 3$ g/l



а б

Рисунок 4 – Контурная карта функции невязки (а) и график сходимости параметров (б) при $X_1 = 7$ % и $X_2 = 7$ г/л

Figure 4 – Contour map of the residual function (a) and parameter convergence graph (b) at $X_1 = 7$ % and $X_2 = 7$ g/l



а б

Рисунок 5 – Контурная карта функции невязки (а) и график сходимости параметров (б) при $X_1 = 3\%$ и $X_2 = 15$ г/л

Figure 5 – Contour map of the residual function (a) and parameter convergence graph (b) at $X_1 = 3\%$ and $X_2 = 15$ g/l

Для проверки алгоритма были подготовлены растворы с известными концентрациями $X_1^{\text{изв}}$ и $X_2^{\text{изв}}$. Для каждого раствора были измерены диэлектрические параметры $\varepsilon_{\text{изм}}$ и $D_{\text{изм}}$. В качестве начального приближения использовались значения факторов $X_1^{(0)} = 20$ %, $X_2^{(0)} = 20$ г/л. Алгоритм возвращал восстановленные концентрации компонентов $X_1^{\text{вос}}$ и $X_2^{\text{вос}}$. Результаты тестирования алгоритма показаны на рисунках 3-5.

Анализ контурных карт функции невязки (рисунок 3-5) свидетельствует о наличии области минимума, локализованной в окрестности заданных значений факторов. Для исследованных тестовых составов с известными параметрами достижение заданного критерия точности обеспечивалось за 5-6 итераций при использовании начального приближения $X_1^{(0)} = 20\%$, $X_2^{(0)} = 20$ г/л. Результаты верификации приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты верификации алгоритма обратного пересчета

Table 3 – Verification results of the inverse recalculation algorithm

$X_1^{\text{изв}}$,%	$X_2^{\text{изв}}$, г/л	$X_1^{\text{вос}}$,%	$X_2^{\text{вос}}$, г/л	ΔX_1,%	ΔX_2, г/л	ΔX_1,%	ΔX_2, г/л	Итераций / Iterations
15	3	14.956	2.989	0.044	0.011	0.29	0.38	5
7	7	6.961	6.979	0.039	0.021	0.55	0.30	6
3	15	2.964	14.986	0.036	0.014	1.20	0.09	5

Абсолютные погрешности восстановления объёмной доли спирта ΔX_1 составили 0,044 %, 0,039 % и 0,036 % для первой (15; 3), второй (7; 7) и третьей (3; 15) тестовых точек, что соответствует относительным погрешностям не более 1,2 %. Погрешности восстановления концентрации сахара ΔX_2 не превысили 0,021 г/л, или 0,4 % в относительном выражении.

Заключение. В ходе эксперимента установлено, что при увеличении объемной доли спирта диэлектрическая проницаемость раствора снижается более чем на 17 % (с 78,6 до 64,7). Влияние концентрации сахара на диэлектрическую проницаемость носит вторичный характер и проявляется в дополнительном снижении ε в пределах 2-3 единиц. Тангенс угла потерь, напротив, демонстрирует рост при увеличении содержания как спирта, так и сахара. В исследуемом диапазоне D изменяется от 0,155 до 0,186, что соответствует увеличению примерно на 20 %. При этом вклад сахарозы выражен более отчетливо, что связано с усилением релаксационных потерь в связи с повышением вязкости. В условиях спиртового брожения запасенные в виноградном сусле сахара преобразуются дрожжами в спирт, а значит, наблюдаемые изменения диэлектрических параметров могут использоваться в качестве косвенных индикаторов протекания процесса.

По результатам полного факторного эксперимента построена регрессионная модель, связывающая диэлектрические параметры (ε; D) с концентрациями компонентов (X_1; X_2). Оба уравнения характеризуются высоким коэффициентом детерминации ($R_\varepsilon^2 = 0{,}93$; $R_D^2 = 0{,}99$), что подтверждает их адекватность и пригодность для практического применения.

На основе регрессионной модели сформулирована и решена обратная задача – определение концентраций компонентов раствора по измеренным значениям диэлектрических параметров. Реализованный итерационно-численный алгоритм продемонстрировал устойчивую сходимость во всех исследованных точках факторного пространства. Верификация алгоритма проводилась для трёх тестовых составов ($X_1 = 15\,\%$, $X_2 = 3$ г/л; $X_1 = 7\%$, $X_2 = 7$ г/л; $X_1 = 3\,\%$, $X_2 = 15$ г/л). Во всех случаях сходимость достигалась за 5-6 итераций. Абсолютные погрешности восстановления составили не более 0,044 % по объёмной доле спирта и не более 0,021 г/л по концентрации сахара, что соответствует относительным погрешностям в пределах 1,2 % и 0,4 % соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют, что диэлектрический метод в сочетании с разработанной математической моделью обеспечивает одновременное определение концентраций этилового спирта и сахара в растворах с высокой точностью и может быть использован как основа для построения систем непрерывного мониторинга процесса брожения.

Conclusions. During the experiment, it was established that an increase in the volumetric fraction of alcohol leads to a decrease in the dielectric permittivity of the solution by more than 17 % (from 78.6 to 64.7). The influence of sugar concentration on dielectric permittivity is secondary and manifests as an additional decrease in ε within 2-3 units. In contrast, the dielectric loss tangent increases with increasing concentrations of both alcohol and sugar. Within the studied range, D varies from 0.155 to 0.186, corresponding to an increase of approximately 20 %. The contribution of sucrose is more pronounced, which is associated with enhanced relaxation losses due to increased viscosity. Under alcoholic fermentation conditions, the sugars present in grape must are converted by yeast into ethanol; therefore, the observed changes in dielectric parameters can be used as indirect indicators of the process progression.

Based on the results of the full factorial experiment, a regression model was developed relating the dielectric parameters (ε,D) to the component concentrations (X_1, X_2). Both equations are characterized by high coefficients of determination ($R_\varepsilon^2 = 0.93$; $R_D^2 = 0.99$), confirming their adequacy and suitability for practical application.

Using the regression model, the inverse problem was formulated and solved, namely the determination of component concentrations from measured dielectric parameters. The implemented iterative numerical algorithm demonstrated stable convergence across all investigated points of the factor space. The algorithm was verified using three test compositions ($X_1 = 15\,\%$, $X_2 = 3$ г/л; $X_1 = 7\,\%$, $X_2 = 7$ г/л; $X_1 = 3\%$, $X_2 = 15$ г/л). In all cases, convergence was achieved within 5-6 iterations. The absolute reconstruction errors did not exceed 0.044 % for the volumetric alcohol fraction and 0.021 g/L for the sugar concentration, corresponding to relative errors within 1.2 % and 0.4 %, respectively.

The obtained results indicate that the dielectric method, combined with the developed mathematical model, enables simultaneous determination of ethanol and sugar concentrations in solutions with high accuracy and can serve as a basis for the development of continuous monitoring systems for the fermentation process.

Библиографический список

1. Kovacevic I., Aleksi I., Keser T., Matic T. Winnie: A sensor-based system for real-time monitoring and quality tracking in wine fermentation. Applied Sciences. 2025. No 15 (21).

2. Dominguez-Renedo O., Navarro-Cunado A. M., Alonso-Lomillo M. A., Melendez-Alvarez M. E. Current state of electrochemical sensors in wine analysis for early diagnosis. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2023. Art. 168.

3. Тимофеев Р. Г. К вопросу применения рефрактометрии для мониторинга процесса брожения сусла. Магарач. Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 21. № 3 (109). С. 267-271.

4. Тимофеев Р. Г. Рефрактоденсиметрический метод определения объемной доли этилового спирта в винах и винных напитках. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 3. С. 104-109.

5. Georgiev S. Dynamics of alcoholic fermentation and the quality of white organic wines produced with selected yeasts. Agricultural Science and Technology. 2024. No 16 (41).

6. Boulton R., Nelson J., Knoesen A. A review of sensors for the monitoring, modeling, and control of commercial wine fermentations. Fermentation. 2025. No 11 (6).

7. Jakoi Z. P., Lemmer B., Dobozi R., Hodur C., Beszedes S. Using dielectric constant measurement to monitor ethanol fermentation and anaerobic co-digestion of lignocellulosic biomass. Fermentation. 2023. No 9 (10).

8. Gallego-Martinez J. J., Cañete-Carmona E., Gersnoviez A., Brox M., Sanchez-Gil J. J., Martin-Fernandez C., Moreno J. Devices for monitoring oenological processes: the review. Measurement. 2024. Art. 235.

9. Mazaheri Z., Papari G. P., Andreone A. Dielectric response of different alcohols in water-rich binary mixtures from THz ellipsometry. International Journal of Molecular Sciences. 2024. No 25 (8).

10. Mazaheri Z., Papari G. P., Andreone A. Probing the molecular dynamics of aqueous binary solutions with THz time-domain ellipsometry. Sensors. 2023. No 23 (4).

11. Belozerov V., Martynov V., Belozerov V. Method and complex of express diagnostics of liquid packaged products. E3S Web of Conferences. Energy Efficiency and Energy Saving in Technical Systems: III International Conference (EEESTS-2021). Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2021. V. 279. Art. 01008.

12. Martynov V. V., Obukhov P. S., Tiknenko P. O. The method of measuring dielectric parameters as a basis for continuous monitoring of mechanical contamination of working fluids. Proceedings of the 11th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2025). Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2025. Pp. 513-521.

References

1. Kovacevic I., Aleksi I., Keser T., Matic T. Winnie: A sensor-based system for real-time monitoring and quality tracking in wine fermentation. Applied Sciences. 2025. No 15 (21).

2. Dominguez-Renedo O., Navarro-Cunado A. M., Alonso-Lomillo M. A., Melendez-Alvarez M. E. Current state of electrochemical sensors in wine analysis for early diagnosis. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2023. Art. 168.

3. Timofeev R. G. On the use of refractometry for monitoring the fermentation process of must. Magarach. Viticulture and Winemaking. 2019. V. 21. No 3 (109). Pp. 267-271.

4. Timofeev R. G. Refractodensimetric method for determining the volume fraction of ethyl alcohol in wines and winy beverages. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020. V. 82. No 3. Pp. 104-109.

5. Georgiev S. Dynamics of alcoholic fermentation and the quality of white organic wines produced with selected yeasts. Agricultural Science and Technology. 2024. No 16 (41).

6. Boulton R., Nelson J., Knoesen A. A review of sensors for the monitoring, modeling, and control of commercial wine fermentations. Fermentation. 2025. No 11 (6).

7. Jakoi Z. P., Lemmer B., Dobozi R., Hodur C., Beszedes S. Using dielectric constant measurement to monitor ethanol fermentation and anaerobic co-digestion of lignocellulosic biomass. Fermentation. 2023. No 9 (10).

8. Gallego-Martinez J. J., Cañete-Carmona E., Gersnoviez A., Brox M., Sanchez-Gil J. J., Martin-Fernandez C., Moreno J. Devices for monitoring oenological processes: the review. Measurement. 2024. Art. 235.

9. Mazaheri Z., Papari G. P., Andreone A. Dielectric response of different alcohols in water-rich binary mixtures from THz ellipsometry. International Journal of Molecular Sciences. 2024. No 25 (8).

10. Mazaheri Z., Papari G. P., Andreone A. Probing the molecular dynamics of aqueous binary solutions with THz time-domain ellipsometry. Sensors. 2023. No 23 (4).

11. Belozerov V., Martynov V., Belozerov V. Method and complex of express diagnostics of liquid packaged products. E3S Web of Conferences. Energy Efficiency and Energy Saving in Technical Systems: III International Conference (EEESTS-2021). Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2021. V. 279. Art. 01008.

12. Martynov V. V., Obukhov P. S., Tiknenko P. O. The method of measuring dielectric parameters as a basis for continuous monitoring of mechanical contamination of working fluids. Proceedings of the 11th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2025). Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2025. Pp. 513-521.

Информация об авторах

Обухов Павел Серафимович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 4485-1065; AutorID: 398570; Scopus: 57196457273; ORCID 0000-0001-5255-947X e-mail: pobuhov@spark-mail.ru
Мартынов Виктор Владимирович, преподаватель, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), SPIN-код: 2784-7999; AutorID: 1087783; Scopus: 58029355600; ORCID 0009-0001-7014-5956 e-mail: vimartmvv@mail.ru

Authors' Information

Obukhov Pavel Serafimovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Don State Technical University (Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), SPIN- code of the author: 4485-1065; AuthorID: 398570; Scopus: 57196457273; ORCID 0000-0001-5255-947X, e-mail: pobuhov@spark-mail.ru
Martynov Viktor Vladimirovich, Lecturer, Don State Technical University (Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), SPIN-code of the author: 2784-7999; AuthorID: 1087783; Scopus: 58029355600; ORCID 0009-0001-7014-5956, e-mail: vimartmvv@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

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

Кулик К. Н., Истомин С. А., Арчаков Д. И., Лебедева Т. Н.
Агролесомелиоративное обустройство агроландшафтов водосбора реки Ширяй в Волгоградской области
Kulik K. N., Istomin S. A., Archakov D. I., Lebedeva T. N.
The Shiray river catchment agricultural and forestry and land reclamation in the Volgograd region 16

Овчинников А. С., Кочеткова О. В., Подковыров И. Ю., Овчинников М. А.
Цифровые экспертные системы в селекции хлопчатника
Ovchinnikov A. S., Kochetkova O. V., Podkovyrov I. Yu., Ovchinnikov M. A.
The digital expert systems in the cotton breeding 29

Беляев А. И., Межевова А. С., Хренов И. Д.
Оценка современного экологического состояния реки Иловля
Belyaev A. I., Mezhevova A. S., Khrenov I. D.
The Ilovlya river current ecological state assessment 37

Сложенкина М. И., Калинина Н. В., Горлов И. Ф., Балашов А. В., Мосолова Н. И.
Динамика аминокислотного и микроэлементного состава нута в процессе селекции
Slozhenkina M. I., Kalinina N. V., Gorlov I. F., Balashov A. V., Mosolova N. I.
The chickpea amino acid and microelement composition dynamics during the breeding process 45

Ахмедов А. Д., Исаев М. М., Халилов Х. Х., Касымов К. Р.
Применение мультисенсорной системы для мониторинга влажности и плодородия почв
Akhmedov A. D., Isaev M. M., Khalilov H. H., Kasymov K. R.
The monitoring soil moisture and soil fertility multisensory system application 51

Беляков А. М., Беляков И. А., Кошелев А. В.
Фактор эффективности в засушливом земледелии Нижнего Поволжья
Belyakov A. M., Belyakov I. A., Koshelev A. V.
The efficiency factor in the Lower Volga region arid farming 62

Дарманян А. П., Богданов С. И., Менян Ш.
Зерновая безопасность. Методология анализа, моделирование и прогнозирование
Darmanian A. P., Bogdanov S. I., Maignan Sch.
The grain security. The analysis methodology, the modeling and the forecasting 70

Капранов В. Н., Тегесов Д. С., Киселёв Е. Ф., Зеленев А. В., Кузьмич М. А., Гармаш Н. Ю.
Озимая тритикале как альтернатива озимой пшенице в производстве зерновой продукции
Kapranov V. N., Tegesov D. S., Kiselyov E. F., Zelenev A. V., Kuzmich M. A., Garmash N. Yu.
The winter triticale as the winter wheat alternative in the grain production 79

Медведев Г. А., Екатериничева Н. Г., Семенова Е. С.
Влияние сроков посева и биологически активных веществ на урожайность рыжика озимого на черноземных почвах Волгоградской области
Medvedev G. A., Ekaterinicheva N. G., Semenova E. S.
The sowing dates and biologically active substances usage impact on the winter camelina (Camelina sativa) yield on the black soils of the Volgograd region 90

Петров В. С., Шелудько О. Н., Антонян А. К., Христенко П. А.
Клоны белых технических сортов винограда для качественного виноделия в условиях потепления климата
Petrov V. S., Sheludko O. N., Antonyan A. K., Khristenko P. A.
The white technical grape varieties' clones for the high-quality winemaking in the warming climate conditions 98

Петров Н. Ю., Кузнецов Ю. В., Солодовников А. П., Денисов К. Е., Горбачева А. С., Чапко Д. В.
Водопотребление в посевах подсолнечника в Волго-Донском междуречье
Petrov N. Yu., Kuznetsov Yu. V., Solodovnikov A. P., Denisov K. E., Gorbacheva A. S., Chapko D. V.
The sunflower crops' water consumption in the Volga-Don interfluve 110

Сухоруких Ю. И., Биганова С. Г., Кияшкина Е. О.
Синергетический подход в оценке разнообразия вида (на примере *Corylus avellana* L.)
Sukhorukikh Yu. I., Biganova S. G., Kiyashkina E. O.
The synergistic approach in the species diversity assessing (the example is *Corylus avellana* L.) 115

Юферев В. Г., Ткаченко Н. А.
Характеристика современного опустынивания земель Республики Дагестан
Yuferev V. G., Tkachenko N. A.
The lands' current desertification characteristics in the Dagestan Republic 124

Акуленко Е. Г., Островская С. М.,. Новикова Н. Н., Дорошенко Е. А., Анишко М. Ю.
Влияние листовых обработок на фенологические фазы развития черной смородины
Akulenko E. G., Ostrovskaya S. M., Novikova N. N., Doroshenko E. A., Anishko M. Yu.
The leaf treatments effect on the black currant development phenological phases 132

Васильева Т. Н.
Мониторинг сорняков яровой твердой пшеницы при воздействии гербицида
Vasilyeva T. N.
The spring durum wheat weeds monitoring under the herbicide exposure 140

Власов В. Г.
Качество зерна новых сортов яровой пшеницы в зависимости от приема агротехники
Vlasov V. G.
The new spring wheat varieties grain quality in dependence on the agricultural practices 148

Гиченкова О. Г., Лаптина Ю. А., Маликова П. С., Лаптин А. Ю.
Оценка адаптивного потенциала и продуктивности сортов картофеля иностранной селекции в острозасушливых условиях Волгоградской области
Gichenkova O. G., Laptina Yu. A., Malikova P. S., Laptin A. Y.
The foreign-selection potato varieties adaptive potential and productivity assessment in the dry conditions of the Volgograd region 158

Гулин А. В., Кигашпаева О. П., Джабраилова В. Ю., Костенко А. Н.
Создание инновационных сортов томатов с хозяйственно ценными морфологическими признаками в условиях аридной зоны юга России
Gulin A. V., Kigashpaeva O. P., Dzhabrailova V. Yu., Kostenko A. N.
The creation of innovative tomato varieties with the economically valuable morphological features in the Southern Russia arid zone conditions 169

Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С., Подковыров И. Ю.
Сравнительная эффективность применения стимуляторов роста на ранних стадиях развития хлопчатника
Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S., Podkovyrov I. Y.
The comparative effectiveness of the growth stimulants usage in the cotton development early stages 179

Комаров Е. В., Комарова О. П.
Закрытые оросительные системы как фактор сохранения биоразнообразия сухой степи на примере локального агроландшафта в Волгоградской области
Komarov E. V., Komarova O. P.
The closed irrigation systems as the factor in the dry steppe biological diversity preserving using the Volgograd region local agricultural landscape as the example 187

Кониева Г. Н., Батыров В. А., Петров Н. Ю., Салаев Б. К.
Современные изменения агроклиматических ресурсов в природно-сельскохозяйственных зонах Республики Калмыкия
Konieva G. N., Batyrov V. A., Petrov N. Yu., Salaev B. K.
The agricultural and climatic resources contemporary changes in the Kalmykia Republic natural and agricultural zones 194

Кошелев А. В., Поташкина Ю. Н., Веденеева В. А.
Оценка запаса углерода и CO_2-эквивалента в хвое сосновых насаждений
Koshelev A. V., Potashkina Yu. N., Vedeneeva V. A.
The assessment of the carbon stock and the CO_2 equivalent in the needles of the pine plantations 202

Кузина Е. В., Никифорова С. А.
Эффективность минеральных удобрений и листовой подкормки в повышении урожайности ячменя и яровой пшеницы
Kuzina E. V., Nikiforova S. A.
The mineral fertilizers and foliar feeding effectiveness in the barley and spring wheat yield increasing 211

Кузьмин П. А., Романова И. М., Лушникова Е. С.
Генотипирование *Pinus sylvestris* L. – *P. nigra subsp. pallasiana* на основе ISSR-маркеров
Kuzmin P. A., Romanova I. M., Lushnikova E. S.
The *Pinus sylvestris L. – P. nigra subsp. pallasiana* genotyping based on the ISSR markers 218

Куликова Н. А., Стручалина Е. В., Котельникова А. С.
Оценка изучения гибридов перца по продуктивности и хозяйственно ценным признакам в условиях Волгоградской области
Kulikova N. A., Struchalina E. V., Kotelnikova A. S.
The pepper hybrids study evaluation based on the productivity and economically valuable traits in the Volgograd region conditions 229

Родин К. А., Новиков А. А.
Изучение влияния средств защиты в сочетании с водными режимами на рост и развитие сортов картофеля в условиях орошения Нижнего Поволжья
Rodin K. A., Novikov A. A.
The study of the effect of protective equipment combined with the water regimes on the growth and development of potato varieties under the irrigation conditions in the Lower Volga region 238

Сапунков В. Л., Гузенко А. В.
Изучение фотосинтетической деятельности и динамики накопления сухой массы озимой пшеницы для условий Нижнего Поволжья
Sapunkov V. L., Guzenko A. V.
The study of the winter wheat photosynthetic activity and dry matter accumulation dynamics in the Lower Volga region conditions 245

Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П.
Влияние агрометеорологических факторов на урожайность люцерны в условиях Волгоградского правобережья
Turko S. Yu., Rybashlykova L. P.
The agrometeorological factors influence on the alfalfa yield in the conditions of the Volgograd right bank 254

Фоменко Ю. П.
Влияние Палласовской оросительно-обводнительной системы на эколого-мелиоративное состояние земель
Fomenko Yu. P.
The impact of the Pallasovskaya irrigation and drainage system on the land's ecological and reclamation state 264

Шарапова Ю. А., Шарапов И. И.
Изучение взаимосвязи морфофизиологических особенностей проростков озимой мягкой пшеницы с урожайностью и элементами продуктивности
Sharapova Yu. A., Sharapov I. I.
The study of the relationship between the winter soft wheat seedlings morphological and physiological characteristics and their yield and productivity elements 273

Варивода Е. А., Лазько В. Э., Фомин С. Д.
Экологическая пластичность и стабильность сортов арбуза столового в различных почвенно-климатических условиях
Varivoda E. A., Lazko V. E., Fomin S. D.
The watermelon varieties ecological plasticity and stability in the various soil and climatic conditions 279

Вишняков С. А., Крылов П. А.
Дупликации и эволюционное расширение семейства генов *WRKY* в геноме *Robinia pseudoacacia* L.
Vishnyakov S. A., Krylov P. A.
The WRKY gene family duplications and evolutionary expansion in the *Robinia pseudoacacia* L. genome 286

Адымханов Л. К., Батукаев А. А., Фомин С. Д.
Изучение пролиферационного потенциала сортов винограда и влияние антибиотиков на пролиферативные процессы на этапе размножения *in vitro*
Adymkhanov L. K., Batukaev A. A., Fomin S. D.
The study of the grape varieties proliferative potential and the antibiotics effect on the proliferative processes during the *in vitro* propagation 295

Сапронов В. В., Воронина В. П., Хужахметова А. Ш., Сапронова Д. В.
Биоэкологические основы выращивания ореха черного (*Juglans nigra* L.) по кассетной технологии в контролируемых условиях окружающей среды
Sapronov V. V., Voronina V. P., Khuzhakhmetova A. Sh., Sapronova D. V.
The black walnut (*Juglans nigra* L.) growing biological and ecological principles using the cassette technology in the controlled environmental conditions 303

Стрижников О. А.
Экспериментальное исследование кинетических характеристик *Chlorella vulgaris* и её роли в удалении биогенных и органических веществ из дренажных вод с осушительных гидромелиоративных систем
Strizhnikov O. A.
The experimental study of the *Chlorella vulgaris* kinetic characteristics and its role in the removing biogenic and organic substances out of reclamation systems drainage water 313

Тютин А. В., Ивченко О. А., Козаченко М. А., Панкин К. Е.
Технологии тушения лесных пожаров в лесостепной и степной зонах Саратовской области
Tyutin A. V., Ivchenko O. A., Kozachenko M. A., Pankin K. E.
The wildfire extinguishing technologies for using in the Saratov region forest-steppes and steppes conditions 321

Шапошникова Ю. В., Коробова Н. А., Коробов А. П., Пучкова Е. В.
Ретроспективная оценка исходного материала зернового гороха в селекции на продуктивность
Shaposhnikova Yu. V., Korobova N. A., Korobov A. P., Puchkova E. V.
The grain peas source material retrospective evaluation within the selection for productivity 333

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Хорошевская Л. В., Томиленко К. А.
Влияние новой минерально-органической кормовой добавки «Бишомал» на продуктивные показатели цыплят-бройлеров
Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Khoroshevskaya L. V., Tomilenko K. A.
The effect of the new mineral-organic feed additive "Bishomal" on the broiler chickens productive indicators 343

Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Шмалюк А. П., Сова И. А.
Повышение продуктивности свиней при использовании новой кормовой добавки
Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolova N. I., Shmalyuk A. P., Sova I. A.
The pig productivity increasing with the new feed additive usage 350

Калайда М. Л., Хамитова М. Ф., Мингазов Н. Р.
Биологические особенности головешки-ротана (*Perccottus glenii* Dybowski) в разных условиях в водоемах Республики Татарстан
Kalaida M. L., Khamitova M. F., Mingazov N. R.
The amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski) biological characteristics under the varying conditions in the Tatarstan Republic aquatic ecosystems 359

Козанков А. Г., Рыжова Н. Г., Терентьева Н. А., Нетесов А. А.
Влияние генетических и паратипических факторов на фенотипическую изменчивость показателей хозяйственно полезных признаков коров красно-пестрой породы
Kozankov A. G., Ryzhova N. G., Terentyeva N. A., Netesov A. A.
The genetic and paratypic factors influence on the Red-and-White cows phenotypic variability of the economically useful traits 369

Харламов А. В., Панин В. А.
Влияние кормовой добавки на макро- и микроэлементный состав крови коз
Kharlamov A. V., Panin V. A.
The effect of feed additive on the goats' macro- and microelement blood composition 380

Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Мосолова Н. И., Сова И. А., Томиленко К. А.
Эффективность воздействия пребиотической кормовой добавки на основе крахмального полисахарида на состав микробиоты кур-несушек
Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Mosolova N. I., Sova I. A., Tomilenko K. A.
The effect of the based on starch polysaccharide prebiotic feed additive on the laying hens microbiota composition 388

Агапова В. Н., Забелина М. В., Агапов С. Ю., Фомин В. С., Урсу Р. В.
Влияние белка микробиального синтеза на продуктивные показатели молоди стерляди (Acipenser ruthenus)
Agapova V. N., Zabelina M. V., Agapov S. Yu., Fomin V. S., Ursu R. V.
The microbial synthesis' protein effect on the juvenile sterlet (Acipenser ruthenus) productive indicators 394

Зотеев С. В., Некрасов Р. В., Зотеев В. С., Чехранова С. В., Николаев С. И., Воронцова Е. С., Водянникова В. В., Чернышков А. С.
Применение разных уровней рыжикового жмыха в кормлении дойных коров
Zoteev S. V., Nekrasov R.V., Zoteev V. S., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V., Chernyshkov A. S.
The various levels of camelina oilcake usage in the dairy cows feeding 401

Килякова Ю. В., Мирошникова Е. П., Аринжанов А. Е., Буланин Д. И.
Влияние меди, магния и марганца в качестве кормовой добавки на организм рыб
Kilyakova Yu. V., Miroshnikova E. P., Arinzhanov A. E., Bulanin D. I.
The effect of copper, magnesium and manganese as the fodder additive on the fish body 408

Чучунов В. А., Злепкин В. А.
Влияние полной изоляции матки перед медосбором на продуктивность и развитие пчел
Chuchunov V. A., Zlepkin V. A.
The effect of the bee queen complete isolation before honey collection on the productivity and development of the bees 421

Козубов А. С., Цветков О. Е., Кощаев А. Г., Ряднов А. А.
Влияние синбиотической кормовой добавки на физиолого-биохимический статус стерляди
Kozubov A. S., Tsvetkov O. E., Koshchaev A. G., Ryadnov A. A.
The synbiotic feed additive effect on the sterlet physiological and biochemical status 429

Медведева В. А., Николаев С. И., Чехранова С. В., Воронцова Е. С., Водянникова В. В.
Исследование применения адсорбентов для снижения влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели цыплят-бройлеров
Medvedeva V. A., Nikolaev S. I., Chekhranova S. V., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V.
The study of the adsorbents usage for reducing the affected by Alternaria grain impact on the broiler chickens production indicators 437

Негомодзянов Д. А., Чехранова С. В., Швецов Н. Н., Фомин В. С.
Влияние БВМК «Л.Е.Д.» на продуктивность дойных коров во время теплового стресса
Negomodzyanov D. A., Chekhranova S. V., Shvetsov N. N., Fomin V. S.
The protein-vitamin-mineral concentrate "L.E.D." effect on the dairy cows' productivity during the heat stress 447

Попов А. А., Кощаев А. Г., Ряднов А. А.
Эффективность применения кормовой добавки БакВин при выпаивании поросят в период доращивания
Popov A. A., Koshchaev A. G., Ryadnov A. A.
The effectiveness of using the BakVin feed additive when feeding piglets during the growing period 454

Шаповалова Д. С., Водянникова В. В., Кузнецов А. Б.
Влияние на гематологические показатели телят в молочный период, полученных с применением протоколов Pre-IVM для улучшения морфологических параметров и качества ооцитов эмбрионов у крупного рогатого скота
Shapovalova D. S., Vodyannikova V. V., Kuznetsov A. B.
The impact on the calves' hematological parameters, obtained with usage PRE-IVM protocols to improve the morphological parameters and quality of the cattle oocytes and embryos 461

Медведева В. А., Николаев С. И., Чехранова С. В., Водянникова В. В.
Исследование влияния зерна, пораженного альтернарией, на производственные показатели бройлеров
Medvedeva V. A., Nikolaev S. I., Chekhranova S. V., Vodyannikova V. V.
The study of the affected by Alternaria grain impact on the broilers production indicators 471

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Багаев А. А., Бобровский С. О.
Влияние марки нержавеющих сталей теплообменника на энергоэффективность индукционных нагревателей молока
Bagaev A. A., Bobrovsky S. O.
The influence of the stainless steel type used in the heat exchanger on the induction milk heaters energy efficiency 479

Бакиров С. М., Колганов Д. А., Иванова А. С.
Анализ результатов испытаний дождеобразующих устройств на разном давлении
Bakirov S. M., Kolganov D. A., Ivanova A. S.
The test results analysis of the rain-generating devices at the various pressures 490

Воробьева Н. С., Токарев К. Е., Зиятдинов Р. Р., Иванов А. Г.
Цифровые инновационные технологии рационального использования агробиоценозов в условиях рискованного земледелия: постановка проблемы, обзор межотраслевых технологических решений и мета-анализ критических технологий
Vorob'eva N. S., Tokarev K. E., Ziyatdinov R. R., Ivanov A. G.
The digital innovative technologies for the agricultural biocenoses rational usage in the risky farming conditions: the problem statement; the cross-industry technological solutions overview and the critical technologies meta-analysis 498

Мещеряков М. П., Григоров С. М., Мещерякова Е. Г., Досова А. Г.
Комплексная технология ресурсосберегающей переработки сточных вод свиноводческого комплекса
Meshcheryakov M. P., Grigorov S. M., Meshcheryakova E. G., Dosova A. G.
The comprehensive technology for the resource-saving pig farm wastewater treatment 510

Мурог И. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Юмаев Д. М., Вышегородцев А. Г., Кутыраев А. А.
Технологии очистки и антикоррозионной защиты деталей автотракторной техники: современные методы и составы
Murog I. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Yumaev D. M., Vyshegorodtsev A. G., Kutyraev A. A.
The cleaning and anti-corrosion protection technologies for the automotive and tractor parts: the modern methods and compositions 519

Родиков С. А., Болдырев Д. О.
Изменение коэффициентов отражения и интенсивности флуоресценции кожицы яблок в процессе созревания в саду
Rodikov S. A., Boldyrev D. O.
The apple peels reflection coefficients and fluorescence intensity changes during the ripening in the orchard 529

Ряднов А. И., Тронев С. В., Федоров А. В.
Оценка устойчивости подборщика-транспортировщика рулонов сена на склонах
Ryadnov A. I., Tronev S. V. Fedorov A. V.
The evaluation of the hay rolls loader transporters stability on the slopes 536

Старцев С. В., Нехорошев Д. А.
Повышение эффективности использования пахотных агрегатов с тракторами мощностью 50-75 кВт
Startsev S. V, Nekhoroshev D. A.
The increasing of the plough units' usage efficiency with the 50-75 kW capacity tractors 546

Букреев А. В., Соловьев Р. Ю., Соловьев Р. Р., Даненков И. Д.
Сравнительный анализ и исследование чувствительности скалярного и векторного управления синхронным реактивным электродвигателем в среде Simulink
Bukreev A. V., Solovyov R. Yu., Solovyov R. R., Danenkov I. D.
The comparative analysis and the sensitivity study of the synchronous reactive electric motor scalar and vector control in the Simulink environment 554

Васильев Э. В., Романов А. С.
Обоснование рациональных параметров и режимов аэрации биоферментационной установки камерного типа
Vasilev E. V., Romanov A. S.
The substantiation of the rational parameters and aeration modes for the chamber-type biological fermentation unit 567

Грибенченко А. В., Моторин В. А., Гапич Д. С., Айтмуратов М. Т., Бородушкин Е. С.
Влияние условий эксплуатации на интенсивность износа и способы повышения износостойкости стальных деталей рабочих органов плуга
Gribenchenko A. V., Motorin V. A., Gapich D. S., Aitmuratov M. T., Borodushkin E. S.
The operating conditions effect on the wear intensity and methods of the plough working bodies steel parts wear resistance increasing 576

Помогаев В. М.
Синтез виртуальных датчиков для контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин
Pomogaev V. M.
The virtual sensors synthesis for the self-propelled agricultural machines technical condition monitoring 587

Рудаков В. А., Маклаков Д. В., Панов В. Б., Тарасьянц С. А.
Экспериментальные исследования способов ввода удобрений в оросительную сеть энергией напорных и всасывающих трубопроводов мелиоративных насосных станций
Rudakov V. A., Maklakov D. V., Panov V. B., Tarasyants S. A.
The experimental studies of the methods for the introducing fertilizers into the irrigation network using the energy of the reclamation pumping stations pressure and suction pipelines 593

Севостьянов А. Л.
Классификация машин, используемых в технологии полосовой обработки почвы
Sevostyanov A. L.
The classification of the equipment used in the strip tillage technology 604

Токарев К. Е., Воробьева Н. С., Фомин С. Д., Захаров Е. Н., Наумов А. Ю.
Разработка сверточной нейронной сети для классификации плодовых культур в системах технического зрения роботизированных комплексов послеуборочной обработки
Tokarev K. E., Vorob'eva N. S., Fomin S. D., Zakharov E. N., Naumov A. Yu.
The convolutional neural network development for the fruit crops classification in the technical vision systems of robotic post-harvest processing complexes 616

Медведев Д. Д., Грищенко В. И.
Исследование характеристик системы регулирования давления пара плазменной горелки для теплоснабжения сельскохозяйственных предприятий
Medvedev D. D., Grishchenko V. I.
The research on the characteristics of the steam-plasma burner steam pressure control system for the agricultural enterprises heat supply 626

Шеин С. Е., Короткий И. А, Расщепкин А. Н., Тюнин А. Д.
Лабораторная установка для исследования процессов вакуумного охлаждения жидких пищевых продуктов
Shein S. E., Korotkiy I. A., Raschepkin A. N., Tyunin A. D.
The laboratory setup for studying the processes of the liquid food products vacuum cooling 635

Чурсина О. А., Гиро Т. М., Сложенкина М. И.
Исследование качественных показателей коньячных дистиллятов из сорта винограда межвидовой селекции при выдержке
Chursina O. A., Giro T. M., Slozhenkina M. I.
The interspecific grape varieties' cognac distillates quality indicators studying during the aging ... 642

Картушина Ю. Н. Храмова В. Н. Набизаде А. С.
Получение биоразлагаемого материала на основе отхода глубокой переработки кукурузы – мезги кукурузной
Kartushina Yu. N., Khramova V. N., Nabizade A. S.
The production of the biodegradable material based on the corn – corn bran deep processing waste 652

Обухов П. С., Мартынов В. В.
Непрерывный мониторинг процесса брожения виноградного сусла на основе диэлектрического отклика
Obukhov P. S., Martynov V. V.
The continuous monitoring of the grape must fermentation process based on the dielectric response 662

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS..... 672

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ 2026

Редакция журнала в своей деятельности руководствуется принципами научности, объективности и беспристрастности

1. Содержание статьи должно соответствовать специальностям:

4.1.1 Общее земледелие и растениеводство.

4.1.2 Селекция, семеноводство биотехнология растений.

4.1.3 Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений.

4.1.4 Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры.

4.1.5 Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика.

4.1.6 Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация.

4.2.1 Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология.

4.2.2 Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность.

4.2.3 Инфекционные болезни и иммунология животных.

4.2.4 Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства.

4.2.5 Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных.

4.2.6 Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство.

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

4.3.2 Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

4.3.3 Пищевые системы.

2. Технический анализ рукописи осуществляется ответственным секретарем журнала, согласно требованиям для авторов, в трехдневный срок после представления рукописи в электронной форме (izvestiya-volgau@mail.ru) и передается на проверку отсутствия неправомерных и некорректных заимствований, определения объема оригинальности авторского текста в Центр наукометрического анализа международных систем индексирования (НАМСИ).

3. Проверка цитирований и ссылок на использованные источники, определение степени заимствования, обусловленного целями цитирования, объема **оригинальности** авторского текста осуществляется в трехдневный срок **по всем коллекциям** в системе Antiplagiat.ru. Допустимый объем цитирований (корректного правомерного заимствования) – не более 30 % от общего объема статьи (неправомерные заимствования не допускаются!) в соответствии с COPE.

4. Передача на рецензирование осуществляется зам. главного редактора после технического анализа и проверки оригинальности авторского текста, в течение трех дней. Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Рецензирование статьи производится **независимыми экспертами** журнала (не менее 2) в течение не более 30 дней с момента получения рукописи. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Рецензии хранятся в издательстве и в редакции издания в течение 5 лет. При наличии существенных замечаний рукопись возвращается авторам с письменным перечислением замечаний, требующих устранения. В журнале используется двустороннее слепое рецензирование (double-blind reviewing): рецензент и автор не знают имён друг друга.

5. Повторное рецензирование осуществляется после представления варианта статьи, с устраненными замечаниями, в течение не более 30 дней. При трехкратном повторном возврате рукописи с замечаниями рецензента вопрос о ее принятии или отклонении решается на заседании редакционной коллегии.

6. Решение о публикации принимается в соответствии с Уставом редакции главным редактором на основе научных рецензий и мнения членов редколлегии. При принятии решения о публикации главный редактор руководствуется достоверностью представления данных и научной значимостью рассматриваемой работы.

7. В случае принятия решения о публикации в течение трех дней рукопись статьи передается в РИО и НТБ для корректуры и редактирования материала статьи, в том числе англоязычной части.

8. Рецензии предоставляются авторам рукописей и по запросам экспертных советов в ВАК. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ. Рукописи возврату не подлежат.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Оформление статьи должно соответствовать Межгосударственным и национальным стандартам Российской Федерации по издательскому делу.

Статья представляется в редакцию в электронной версии (в формате Word Windows), Статья должна иметь УДК (можно определить на сайте http://teacode.com/online/udc/). Количество авторов – не более четырех.

Статья набирается в текстовом процессоре Microsoft Word со следующими установками: поля страницы сверху, снизу – 2,4 см; слева, справа – 2,8 см. Стиль 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, JPEC, 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 текс**т (без названия, авторов, аннотации, ключевых слов и библиографического списка) – от **15 тыс.** знаков с пробелами (от 2000 слов), полный текст – от 30 тыс. знаков с пробелами (от 4000 слов) (**10-12** стр.).

ОФОРМЛЕНИЕ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ССЫЛОК

Библиографические ссылки на список литературы должны быть оформлены с указанием в строке текста в квадратных скобках цифрового порядкового номера. В случае ссылки на точную цитату – необходимо дополнительно указать через запятую номера соответствующих страниц, например, [7, с. 36].

Список литературы нумеруется в порядке упоминания в тексте, он должен быть оформлен в соответствии с рекомендованным АНРИ (Ассоциацией научных редакторов и издателей) международным стандартом Vancouver Style (образец – на сайте).

RULES OF DIRECTION, REVIEW AND PUBLICATION OF SCIENTIFIC ARTICLES 2026

1. The content of the article should correspond to the specialties:

4.1.1 General agriculture and crop production

4.1.2 Breeding, seed production, plant biotechnology

4.1.3 Agrochemistry, agro-soil science, plant protection and quarantine

4.1.4 Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops

4.1.5 Land reclamation, water management and agrophysics

4.1.6 Forestry, forestry, forest crops, agroforestry, landscaping, forest ecology and taxation

4.2.1 Animal pathology, morphology, physiology, pharmacology and toxicology

4.2.2 Sanitation, hygiene, ecology, veterinary and sanitary expertise and biosafety

4.2.3 Infectious diseases and animal immunology

4.2.4 Private animal husbandry, feeding, technologies of feed preparation and production of livestock products

4.2.5 Breeding, breeding, genetics and biotechnology of animals

4.2.6 Fisheries, aquaculture and industrial fisheries

4.3.1 Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

4.3.2 Electrical technologies, electrical equipment and power supply of agro-industrial complex

4.3.3 Food systems

2. Technical analysis of the manuscript is carried out by the executive secretary of the journal, according to the requirements for the authors, within three days after the submission of the manuscript in electronic form (izvestiya-volgau@mail.ru) and is sent for verification of the absence of illegal borrowing, to determine the originality of the author's text to the Center for Scientometric Analysis International Indexing Systems (NAMSI) (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, JPEC, 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
Нижневолжского агроуниверситетского комплекса:
наука и высшее профессиональное образование № 4 (88), 2026

Ответственный редактор – *Д. А. Шишлянникова*
Технический редактор – *Т. А. Ситникова*
Компьютерная верстка – *Е. С. Дергачева*
Перевод – *Н. В. Тураева*

Реестровая запись: серия ПИ № ФС77-80865 выдано 23.04.2021
Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Издается с 1997 г. Выходит 6 раз в год.

Подписной индекс ПП573
Адрес издателя и редакции: 400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.
Электронная почта izvestiya-volgau@mail.ru
Дата выхода 31.08.2026.
Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 120.
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 № 4 (88), 2026

Executive editor – *D. A. Shishlyannikova*
Technical editor – *T. A. Sitnikova*
Desktop publishing – *E. S. Dergacheva*
Translation – *N. V. Turaeva*

Registry entry: PI series no. FS77-80865 issued on 23.04.2021
Federal Service for Supervision of Communications,
Information technology and mass communications
Published since 1997. Published 6 times a year.

Subscription Index ПП573
Address of publisher and editorial staff: 400002, Volgograd, University Avenue, 26
E-mail: izvestiya-volgau@mail.ru
Release Date 31.08.2026.
Edition 1000 (first factory 100). Order 120.
Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price