ИЗВЕСТИЯ

НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:

НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

№ 3 (87), 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

№ 3 (87), 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

№ 3 (87), 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

№ 3 (87), 2026

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

Главный редактор:
Горлов И.Ф., академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, профессор Волгоградского ГАУ, зав. кафедрой "Технология пищевых производств" ВолГТУ, Заслуженный деятель науки РФ, дважды лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники
Заместители главного редактора:
Фомин С.Д., доктор технических наук, зав. Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, Волгоградский ГАУ
Ряднов А.А., доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР, Волгоградский ГАУ
Бочарников В.С., доктор технических наук, **член-корреспондент РАН,** Ученый секретарь Волгоградского ГАУ
Шапров М.Н., доктор технических наук, профессор, Волгоградский ГАУ

ББК 4 (2Рос–4Вог)
И-33

THE MAGAZINE FOUNDER
Volgograd State
Agrarian University

ISSN 2071-9485
DOI: 10.32786/2071-9485

№ 3 (87), 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

№ 3 (87), 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»

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

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

Иностранные члены редсовета

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия научного журнала

4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Uspensky I.A., Doctor of Technical Sciences, 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

4.3.3. Пищевые системы (биологические науки)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.3.3. Food systems (biological sciences)

Chernukha I.M., **Academician of the Russian Academy of Sciences**, Doctor of Technical Sciences, Professor, V. M. 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: 10.32786/2071-9485-2026-03-01

THE 50 YEARS' WORK OF THE FEDERAL RESEARCH CENTER OF AGRICULTURAL ECOLOGY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES DISSERTATION COUNCIL IN THE FIELD OF AGRICULTURAL FORESTRY AND PROTECTIVE AFFORESTATION

[1]Kulik K. N., [1]Manaenkov A. S., [1]Khuzhakhmetova A. Sh., [1]Barabanov A. T., [1]Salugin A. N., [1]Tanyukevich V. V., [2]Voronina V. P., [3]Turusov V. I., [4]Treshchevskaya E. I., [5]Turchin T. Ya.

[1]Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
Volgograd, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[3]Voronezh Federal Agrarian Research Center named after V. V. Dokuchaev
Talovsky District, Voronezh Region, Russian Federation
[4]Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov
Voronezh, Russian Federation
[5]Branch of the All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization "South European Forest Research Experimental Station"
Veshenskaya, Sholokhov District, Rostov Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: avfanc@yandex.ru

Received 10.04.2026 Submitted 18.05.2026

The research was carried out on the topic of the State assignment of the Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (№075-00524-26-01), Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Summary

The history and results of the dissertation council's activities over a 50-year period are presented.

Abstract

Introduction. To ensure the sustainable development of sparsely forested regions of Russia, it is necessary to develop a system of sustainable agroforestry plantations in degraded areas (42 million hectares). Addressing contemporary environmental challenges associated with climate change and desertification creates an urgent need for relevant scientific personnel. Based on data from the country's constituent entities, a forecasted need for forestry personnel has been established (3 thousand people/year). **Materials and methods**. Archives and departmental materials from the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, as well as statistical digests related to the research area, were used to analyze the dissertation council's activities. **The purpose** is to analyze the activities of the dissertation council in the Russian system of scientific certification in specialties that correspond to the tasks of ensuring the country's technological independence and technological leadership. **Results and conclusions**. The article provides key historical information and the regulatory framework for the creation and functioning of a specialized council based at the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (formerly the All-Russian Research Institute of Agroforestry). The dissertation council retained the traditional model of a permanent dissertation council based on scientific organizations. The article provides a list of doctoral dissertation topics and shows the structure of candidate and doctoral dissertations in scientific specialties defended over a 25-year period (2001-2025) in the dissertation council based at the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, as well as their relevance for solving the problems outlined in strategic documents, federal laws and programs.

Keywords: *Dissertation Council, scientific specialties, forestry, agroforestry, landscaping.*

Citation. Kulik K. N., Manaenkov A. S., Khuzhakhmetova A. Sh., Barabanov A. T., Salugin A. N., Tanyukevich V. V., Voronina V. P., Turusov V. I., Treshchevskaya E. I., Turchin T. Ya. The 50 years' work of the Federal Research Center of Agricultural Ecology of the Russian Academy of Sciences Dissertation Council in the field of agricultural forestry and protective afforestation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 16-27 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2026-03-01.

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 378.245:630*181

50 ЛЕТ РАБОТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФНЦ АГРОЭКОЛОГИИ РАН В ОБЛАСТИ АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ И ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ

[1]**Кулик К. Н.,** *академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник*
[1]**Манаенков А. С.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник*
[1]**Хужахметова А. Ш.,** *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[1]**Барабанов А. Т.,** *доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией*
[1]**Салугин А. Н.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник*
[1]**Танюкевич В. В.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный сотрудник*
[2]**Воронина В. П.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]**Турусов В. И.,** *академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник*
[4]**Трещевская Э. И.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[5]**Турчин Т. Я.,** *доктор сельскохозяйственных наук, директор*

[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
[3]ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В. В. Докучаева»
Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2 участка Института им. В. В. Докучаева, Российская Федерация
[4] ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова»
г. Воронеж, Российская Федерация
[5]Филиал ФБУ Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства «Южно-европейская научно-исследовательская лесная опытная станция»
Ростовская область, Шолоховский район, ст. Вешенская, Российская Федерация

Исследования выполнены по теме Государственного задания Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (№075-00524-26-01), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Актуальность. Для устойчивого развития малолесных субъектов России необходимо формировать систему устойчивых агролесомелиоративных насаждений на деградированных территориях (42 млн га). Решение современных экологических вызовов, связанных с климатическими изменениями и опустыниванием, определяет острую потребность в научных кадрах соответствующего профиля. По данным субъектов страны установлена прогнозная потребность в кадрах лесного профиля (3 тыс. человек в год). **Материалы и методы.** Для анализа деятельности диссертационного совета привлечены фондовые и ведомственные материалы ФНЦ агроэкологии РАН, а также статистические сборники по направлению исследований. **Цель** – провести анализ деятельности диссертационного совета в российской системе научной аттестации по специальностям, которые соответствуют задачам обеспечения технологической независимости и технологического лидерства страны. **Результаты и выводы.** Приведены основные исторические сведения и нормативно-правовая основа создания и функционирования специализированного совета на базе ФНЦ агроэкологии РАН (ранее Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации). Диссовет сохранил традиционную модель постоянно действующего диссертационного совета на базе научной организации. Приведен перечень тематик докторских диссертаций и показана структура кандидатских и докторских диссертаций по научным специальностям, защищённых за 25-летний период (2001-2025 гг.) в диссовете на базе ФНЦ агроэкологии РАН, а также их востребованность для решения субъектами задач, которые обозначены в стратегических документах, федеральных законах, и программах.

Ключевые слова: *диссертационный совет, научные специальности, лесное хозяйство, агролесомелиорация, озеленение территорий.*

Цитирование. Кулик К. Н., Манаенков А. С., Хужахметова А. Ш., Барабанов А. Т., Салугин А. Н., Танюкевич В. В., Воронина В. П., Турусов В. И., Трещевская Э. И., Турчин Т. Я. 50 лет работы диссертационного совета ФНЦ агроэкологии РАН в области агролесомелиорации и защитного лесоразведения. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 16-27. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-01.
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. Интенсивная хозяйственная деятельность резко обострила экологическую обстановку в засушливых регионах (28 субъектов) России [1, 2]; 42 млн га деградированных угодий нуждаются в лесомелиоративном обустройстве [3, 4]. Эти субъекты испытывают острую потребность в научных кадрах соответствующего профиля для поддержания сложившихся научных школ, притока в них молодых инициативных исследователей [5].

Дефицит кадров затронул в целом сферу высшего образования, что связано как с демографическими процессами, так и с трендом уменьшения количества докторов и кандидатов наук [6]. Установлено, что «…институт аспирантуры как система подготовки кандидатов наук в 2013-2023 годах переживал стадию кризиса: практически все показатели работы аспирантуры (прием, доля освоивших полную программу аспирантуры, выпуск с защитой диссертации) стабильно ухудшались» [7].

Низкая кадровая обеспеченность – основная проблема развития лесной отрасли (рисунок 1).

Рисунок 1 – Характеристика системы высшего образования в России (2025) по данным мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования [8]
Figure 1 – Characteristics of the higher education system in the Russia (2025) based on monitoring data on the effectiveness of higher education institutions [8]

По данным субъектов Российской Федерации прогнозная потребность в кадрах лесного профиля составляет порядка 3 тыс. человек в год. При этом около 8 тыс. руководителей и специалистов лесного хозяйства, имеющих непрофильное образование, нуждаются в повышении квалификации и переподготовке [9, 10].

«Достижение показателей, предусмотренных Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.09.2018 № 1989-р, увеличение вклада лесного комплекса в валовый внутренний продукт до 1 %, рост численности персонала, занятого в лесном комплексе до 820 тыс. человек, налоговых поступлений в бюджеты бюджетной системы Российской Федерации до 189 млрд рублей требует значительного повышения эффективности лесного хозяйства и лесной промышленности. … Снижение качества научного обеспечения развития лесной отрасли связано с сокращением численности научных работников лесных научно-исследовательских институтов, старением кадрового потенциала» [9, 10].

Потребность субъектов в научных кадрах по направлению «Лесное хозяйство» определяется выполнением задач, определенных Доктриной продовольственной безопасности (Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20); Указом Президента РФ «О применении отдельных специальных экономических мер в целях обеспечения безопасности Российской Федерации», а также в соответствии с Федеральными законами и программами, постановлениями Правительства РФ: «О науке и государственной научно-технической по-

литике», «Стратегией инновационного развития Российской Федерации», «О мелиорации земель» [11], «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России на период 2014-2020 годов», «Стратегией устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года» и «Стратегией развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2035 года».

Учеными решены важные научные проблемы такие, как разработка ландшафтно-экологических принципов организации сельхозугодий с помощью лесомелиорации в целях рационального и разностороннего использования биоклиматических ресурсов агролесоландшафтов; подбор ассортимента, создание лесосеменных баз основных древесных пород и разработка технологий выращивания селекционного посадочного материала для защитного лесоразведения и озеленения населенных пунктов; улучшение плодородия почв, борьба с их деградацией и совершенствование технологий создания различных видов защитных лесных насаждений и многие другие.

Ведущие ученые участвуют в подготовке нормативных документов для государственных и внеправительственных органов по использованию природно-ресурсного потенциала земельного фонда и охране окружающей среды. Разработаны национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России» [12] и национальные программы по борьбе с опустыниванием и загрязнением среды методами фитомелиорации для 14 субъектов России.

ФНЦ агроэкологии РАН для обеспечения единого инновационного цикла в области сельского и лесного хозяйства осуществляет подготовку научных кадров для исследовательской деятельности, внедряет научные разработки в производство (например, технологии мобилизации адаптированного генофонда деревьев и кустарников в питомниках филиалов центра), модернизирует экспериментальную базу, оснащая ее современным уникальным и дорогостоящим оборудованием с высокой долей автоматизации и производительности [13]. Организация поддерживает тесные связи с ведущими учеными высших учебных заведений и научных организаций лесотехнического профиля России, Беларуси, Казахстана, Азербайджана, Узбекистана, Вьетнама, Китая и др.

Цель – провести анализ деятельности диссертационного совета в российской системе научной аттестации по специальностям, которые соответствуют задачам обеспечения технологической независимости и технологического лидерства страны.

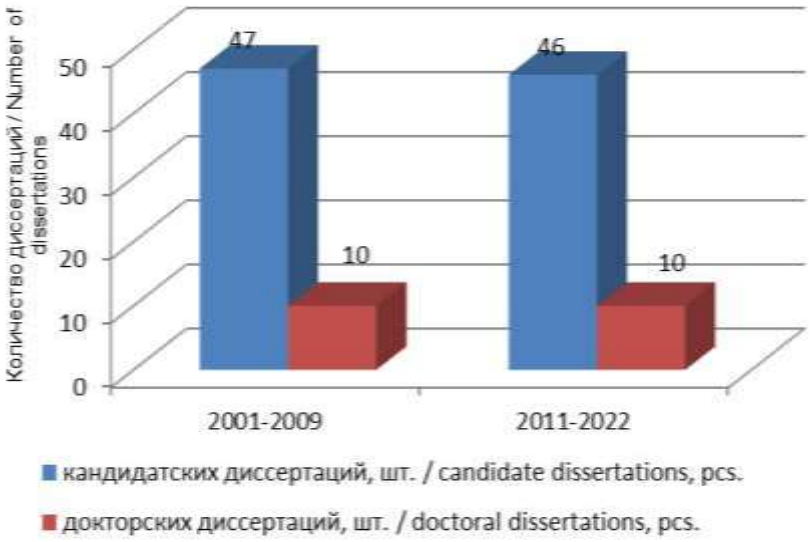
Материалы и методы исследований. Для анализа деятельности диссертационного совета привлечены фондовые и ведомственные отчеты ФНЦ агроэкологии РАН, а также статистические сборники по направлению исследования, информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования [6].

Результаты и обсуждение. Учитывая достижения и научный потенциал Всесоюзного научно-исследовательского института агролесомелиорации (ВНИАЛМИ), в марте 1976 г. был создан специализированный диссертационный совет по присуждению ученой степени кандидата, а в июле того же года – доктора наук [14].

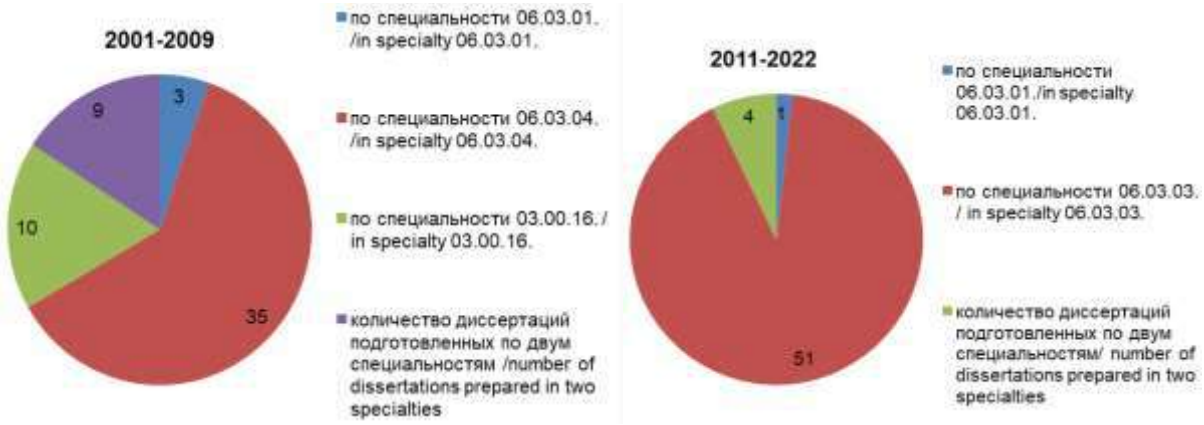
За весь период функционирования диссертационного совета защищены 222 кандидатская и 51 докторских диссертаций (из них в период с 2001 по 2025 гг. защищены 98 кандидатских и 21 докторских диссертаций, рисунок 2).

Председателями диссертационного совета в разные годы были: Г. П. Озолин – доктор биологических наук (1968), профессор (1970), член-корреспондент ВАСХНИЛ (1972), Заслуженный деятель науки РСФСР; Е. С. Павловский – доктор сельскохозяйственных наук (1970), профессор (1981), академик ВАСХНИЛ (1988), академик РАН (2013), Заслуженный деятель науки Российской Федерации; Г. Я. Маттис – доктор сельскохозяйственных наук (1980), профессор (1982), член-корреспондент ВАСХНИЛ (1991), Заслуженный лесовод РСФСР; К. Н. Кулик – доктор сельскохозяйственных наук (1996), профессор (2011), академик РАСХН (2003), академик РАН (2013), Заслуженный деятель науки Российской Федерации. Учеными секретарями были Р. В. Волкова, Л. А. Петрова, С. В. Колмукиди, А. Ш. Хужахметова, кандидаты сельскохозяйственных наук.

С 1976 по 2009 гг. на базе ВНИАЛМИ осуществлялась подготовка и аттестация научных и научно-педагогических работников высшей квалификации по специальности 06.03.04 – Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов.



а



б

Рисунок 2 – Распределение защит кандидатских и докторских диссертаций по годам (а) и специальностям (б)

Figure 2 – Distribution of candidate and doctoral dissertation defenses by year (a) and specialty (b)

На период действия Номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минпромнауки России от 31.01.2001 г. № 47, Приказом Рособрнадзора России № 337-635 от 16.05.2008 г. диссертационному совету Д 006.007.01 на базе ВНИАЛМИ Россельхозакадемии было разрешено проводить защиту диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по трем специальностям: 03.00.16 – экология (сельскохозяйственные науки), 06.03.01 – лесные культуры, селекция, семеноводство (сельскохозяйственные науки), 06.03.04 – агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов (рисунок 3).

С 2010 по 2016 гг. на базе ФГБНУ «ВНИАЛМИ», с 2016 по 2022 гг. на базе ФНЦ агроэкологии РАН[1] функционировал диссовет Д 006.007.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальностям 06.03.01 – Лесные культуры, селекция, семеноводство; 06.03.03 – Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними (Приказ Рособрнадзора № 2651-662 от 12.11.2010 г., Приказ Минобрнауки РФ № 105/нк от 11.04.2012 г.).

[1] В соответствии с приказом ФАНО России от 14 июля 2016 г. № 371 Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский агролесомелиоративный институт» (ФГБНУ «ВНИАЛМИ») переименовано в Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», которое является правопреемником по всем правам и обязанностям ФГБНУ «ВНИАЛМИ».

а

б

Рисунок 3 – Заседание диссертационного совета Д 006.007.01 по защите диссертации, председатель – Кулик Константин Николаевич, академик РАН, ученый секретарь – Петрова Людмила Андреевна, к. с.-х. наук (а – выступление соискателя, б – дискуссия)
Figure 3 – Meeting of the dissertation council D 006.007.01 for the defense of the dissertation, chairman – Konstantin Nikolaevich Kulik, academician of the Russian Academy of Sciences, scientific secretary – Lyudmila Andreevna Petrova, candidate of agricultural sciences (a – presentation of the applicant, b – discussion)

Тематики диссертаций соответствуют приоритетным направлениям исследований рационального природопользования и формулам специальностей (06.03.01 – разработка научных основ и принципов лесной селекции, семеноводства, выращивания лесного посадочного материала, создания и формирования насаждений искусственного происхождения, в том числе в городах и населённых пунктах; 06.03.03 – область науки, занимающаяся разработкой научных основ, принципов и методов защиты почв и сельскохозяйственных угодий от неблагоприятного воздействия климатических факторов, от ветровой и водной эрозии путем создания лесных насаждений, изучением природы лесных пожаров и разработкой мер борьбы с ними; таблица 1).

Таблица 1 – Перечень докторских диссертаций (сельскохозяйственные науки)
Table 1 – List of doctoral dissertations (agricultural sciences)

ФИО соискателя / Full name of the applicant	Тема диссертации, шифр специальности / Dissertation topic, specialty code	Научный консультант / Scientific advisor
1	2	3
06.03.04 – Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов / 06.03.04 – Agroforestry and protective afforestation, greening of settlements		
Габунщина Эмма Борисовна / Gabushchina Emma Borisovna	Адаптивное лесоаграрное природопользование в российском Прикаспии: на примере Калмыкии. Волгоград, 2002 / Adaptive forestry and agricultural nature management in the Russian Caspian region: the case of Kalmykia. Volgograd, 2002	Петров Владимир Иванович / Petrov Vladimir Ivanovich
Рулев Александр Сергеевич / Rulev Alexander Sergeev	Теоретические основы и методология агролесомелиорации деградированных ландшафтов. Волгоград, 2002 / Theoretical Foundations and Methodology of Agroforestry of Degraded Landscapes. Volgograd, 2002	Кулик Константин Николаевич / Kulik Konstantin Nikolaevich
Шульга Виктор Дмитриевич / Shulga Viktor Dmitrievich	Устойчивость защитных лесных насаждений степных ландшафтов. Волгоград, 2002 / Stability of protective forest plantations of steppe landscapes. Volgograd, 2002	-
Литвинов Евгений Александрович / Litvinov Evgeny Aleksandrovich	Комплексная лесомелиорация пашни Нижнего Поволжья. Волгоград, 2003 / Complex forest reclamation of the Lower Volga arable land. Volgograd, 2003	Степанов Александр Михайлович / Stepanov Aleksandr Mikhailovich
Манаенков Александр Сергеевич / Manaenkov Aleksandr Sergeevich	Лесомелиорация арен Юго-Востока. Волгоград, 2004 / Forestry of the Arenas of the South-East. Volgograd, 2004	-

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Рулева Ольга Васильевна / Ruleva Olga Vasilievna	Биопродуктивность орошаемых агролесоландшафтов юга европейской России. Волгоград, 2005 / Biological productivity of Irrigated Agroforest Landscapes in the South of European Russia. Volgograd, 2005	Степанов Александр Михайлович / Stepanov Aleksandr Mikhailovich
Семенютина Александра Викторовна / Semenyutina Aleksandra Viktorovna	Лесомелиорация и обогащение дендрофлоры аридных регионов России. Волгоград, 2005 / Forest reclamation and enrichment of the dendroflora of the arid regions of Russia. Volgograd, 2005	-
Раков Александр Юрьевич / Rakov Aleksander Yurievich	Особенности фитомелиорации земель Центрального и Восточного Предкавказья. Волгоград, 2007 / Features of phytomelioration of lands of the Central and Eastern Cis-caucasia. Volgograd, 2007	
Юферев Валерий Григорьевич / Yuferev Valery Grigorievich	Агролесомелиоративное картографирование и моделирование деградационных процессов на основе аэрокосмического мониторинга и геоинформационных технологий. Волгоград, 2009 / Agroforestry Mapping and Modeling of Degradation Processes Based on Aerospace Monitoring and Geoinformation Technologies. Volgograd, 2009	Рулёв Александр Сергеевич / Rulev Aleksandr Sergeevich
06.03.04 – Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, 06.03.01. – Лесные культуры, селекция, семеноводство / 06.03.04 – Agroforestry and protective afforestation, urban greening, 06.03.01. – Forest crops, breeding, and seed production		
Крючков Сергей Николаевич / Kryuchkov Sergey Nikolaevich	Селекционное семеноводство для защитного лесоразведения на юго-востоке европейской территории России. Волгоград, 2004 / Breeding Seed Production for Protective Afforestation in the South-East of the European Part of Russia. Volgograd, 2004	Маттис Гельмут Яковлевич / Mattis Helmut Yakovlevich
03.00.16 – Экология / 03.00.16 – Ecology		
Салугин Александр Иванович / Salugin Aleksandr Ivanovich	Динамическое моделирование деградационных процессов в агроэкологии. Волгоград, 2006 / Dynamic Modeling of Degradation Processes in Agroecology. Volgograd, 2006	Кулик Константин Николаевич / Kulik Konstantin Nikolaevich
06.03.04 – Агролесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, 03.00.16 – Экология / 06.03.04 – Agroforestry and protective afforestation, urban greening, 03.00.16 – Ecology		
Воронина Валентина Павловна / Voronina Valentina Pavlovna	Агроэкологический потенциал пастбищных экосистем Северо-Западного Прикаспия в условиях меняющегося климата. Волгоград, 2009 / Agroecological Potential of Pasture Ecosystems in the North-Western Caspian Region in a Changing Climate. Volgograd, 2009	Петров Владимир Иванович / Petrov Vladimir Ivanovich
06.03.01. – Лесные культуры, селекция, семеноводство, 06.03.03 – Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними / 06.03.01. – Forest crops, breeding, seed production, 06.03.03 – Agroforestry, protective afforestation and landscaping of settlements, forest fires and their control		
Алиев Игорь Нажафович / Aliyev Igor Nazhafovich	Естественное облесение и биологическая рекультивация нарушенных земель Северного Кавказа: на примере Кабардино-Балкарии. Волгоград, 2012 / Natural afforestation and biological reclamation of disturbed lands in the North Caucasus: the case of Kabardino-Balkaria. Volgograd, 2012	Панков Яков Владимирович / Pankov Yakov Vladimirovich
06.03.03 – Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними / 06.03.03 – Agroforestry, protective afforestation and greening of settlements, forest fires and their control		
Трёшкин Сергей Евгеньевич / Trushkin Sergey Evgenievich	Деградация тугаев Средней Азии и возможности их восстановления. Волгоград, 2011 / The Degradation of the Tugais of Central Asia and the Possibilities of Their Restoration. Volgograd, 2011	Бахиев Амин Бахиевич / Bakhiev Amin Bakhievich

Окончание таблицы 1

1	2	3
Петелько Анатолий Иванович / Petelko Anatoly Ivanovich	Агролесомелиорация в адаптивно-ландшафтном земледелии в лесостепи Центрального Нечерноземья. Волгоград, 2012 / Agroforestry in Adaptive Landscape Farming in the Forest-Steppe of the Central Non-Chernozem Region. Volgograd, 2012	Барабанов Анатолий Тимофеевич / Barabanov Anatoly Timofeevich
Трещевская Элла Игоревна / Treshchevskaya Ella Igorevna	Формирование защитных лесных насаждений на техногенно нарушенных землях: на примере Курской магнитной аномалии. Волгоград, 2013 / Formation of Protective Forest Plantations on Technogenically Disturbed Lands: The Case of the Kursk Magnetic Anomaly. Volgograd, 2013	Панков Яков Владимирович / Pankov Yakov Vladimirovich
Сокольская Ольга Борисовна / Sokolskaya Olga Borisovna	Теоретическое и экспериментальное обоснование восстановления объектов садово-паркового наследия на Приволжской возвышенности. Волгоград, 2013 / Theoretical and Experimental Justification of the Restoration of Garden and Park Heritage Sites in the Volga Upland. Volgograd, 2013	Проездов Пётр Николаевич / Proezdov Petr Nikolaevich
Кругляк Владимир Викторович / Kruglyak Vladimir Viktorovich	Адаптивные системы озеленения населенных пунктов Центрального Черноземья. Волгоград, 2013 / Adaptive Landscaping Systems for Settlements in the Central Chernozem Region. Volgograd, 2013	Семенютина Александра Викторовна / Semenyutina Aleksandra Viktorovna
Танюкевич Вадим Викторович / Tanyukevich Vadim Viktorovich	Мелиоративная роль фитомассы лесных полос степных агроландшафтов Среднего и Нижнего Дона. Волгоград, 2015 / The reclamation role of the phytomass of forest belts in the steppe agro-landscapes of the Middle and Lower Don. Volgograd, 2015	Ивонин Владимир Михайлович / Ivonin Vladimir Mikhailovich
Воскобойникова Инна Владимировна / Voskoboynikova Inna Vladimirovna	Почвозащитная роль лесов Западного Кавказа при осуществлении туристско-рекреационной деятельности. Волгоград, 2017 / The soil-protecting role of the forests of the Western Caucasus in the implementation of tourist and recreational activities. Volgograd, 2017	Танюкевич Вадим Викторович / Tanyukevich Vadim Viktorovich
Хамарова Зора Хакимовна / Khamarova Zora Khakimovna	Лесомелиорация техногенных ландшафтов в условиях вертикальной зональности Центральной части Северного Кавказа. Волгоград, 2020 / Forest Reclamation of Technogenic Landscapes in the Conditions of Vertical Zoning of the Central Part of the North Caucasus. Volgograd, 2020	Михин Вячеслав Иванович / Mikhin Vyacheslav Ivanovich

Диссертационный совет имеет необходимые технические условия, включая специальный раздел на сайте организации для размещения информации о совете, его составе, нормативных документах, в соответствии с которыми он осуществляет свою деятельность; диссертации и документы к защите и защиты диссертации; возможность организации заседаний в удаленном интерактивном режиме (рисунок 4).

В новой системе научной аттестации предусмотрено три подсистемы – постоянно действующие диссертационные советы, разовые диссертационные советы, объединенные диссертационные советы [15]. Диссовет ФНЦ агроэкологии РАН сохранил традиционную модель постоянно действующего диссертационного совета на базе научной организаций.

Эффективность деятельности диссертационного совета обеспечивалась включением в его состав ведущих ученых из научных и образовательных профильных учреждений России (ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В. В. Докучаева», ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», ФБУ Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства – «Южно-

европейская научно-исследовательская лесная опытная станция», Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»).

Рисунок 4 – Работа диссертационного совета в дистанционном режиме
Figure 4 – Work of the dissertation council in remote mode

Члены диссертационного совета традиционно специализируются на агролесомелиоративных исследованиях, качество и высокий уровень которых за последние 25 лет неоднократно подтверждались и поддерживались Правительствами субъектов Российской Федерации, Правительством Российской Федерации, а также Российской академией наук. Научные разработки неоднократно были удостоены наград и премий разного уровня, в т. ч. Государственной премии СССР «За разработку и внедрение методов облесения песков юга и юго-востока европейской части СССР» (1986); Премии Правительства РФ в области науки и техники «За разработку научных основ автоматизированного проектирования и практическое применение агролесомелиоративных почвозащитных систем адаптивно-ландшафтного обустройства сельскохозяйственных земель Российской Федерации» (2000). Члены диссертационного совета имеют современные публикации по научным специальностям в ведущих научных изданиях, включенных в Перечень ВАК при Минобрнауки России, а также в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus, Web of Science и др.

22 марта 2023 г. на базе ФНЦ агроэкологии РАН создан диссертационный совет 24.1.251.01 по научной специальности 4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные науки). Состав диссертационного совета 24.1.251.01 утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 22.03.2023 г. № 483/нк и признан соответствующим Положению о присуждении научных степеней. В составе диссертационного совета 16 человек (https://vfanc.ru/dissertaczionnyj-sovet-2/). Председатель диссертационного совета – Кулик Константин Николаевич, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии агролесоландшафтов; заместитель председателя – Манаенков Александр Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник – заведующий лабораторией защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель; ученый секретарь – Хужахметова Алия Шамильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкологии древесных растений ФНЦ агроэкологии РАН. Научная специальность 4.1.6 «Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация» входит в перечень научных специальностей, соответствующих задачам обеспечения технологической независимости и технологического лидерства Российской Федерации (распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.03.2026 г. № 457-р). С 2023 по 2025 год по научной специальности защищены 5 кандидатских диссертаций.

Заключение. ФНЦ агроэкологии РАН, научно-исследовательское учреждение, известное в России и за ее пределами своими достижениями в области защитного лесоразведения, внес вклад в развитие научного потенциала страны. Сложившиеся научные школы, кадровый потенциал, многолетний опыт работы по подготовке (с 1932 года) и аттестации научных и научно-педагогических кадров (с 1976 года), а также потребности субъектов РФ, расположенных в засушливой зоне, определяют востребованность диссертационного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и доктора наук при ФНЦ агроэкологии РАН. Диссовет сохранил традиционную модель постоянно действующего диссертационного совета на базе научной организации.

Conclusions. The Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, a research institution renowned in Russia and abroad for its achievements in protective afforestation, has contributed to the development of the country's scientific potential. Established scientific schools, human resources, and many years of experience in training (since 1932) and certifying scientific and teaching staff (since 1976), as well as the needs of the constituent entities of the Russian Federation located in arid zones, determine the relevance of a dissertation council for candidate of science and doctoral dissertations at the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. The dissertation council retained the traditional model of a permanent dissertation council based on scientific organizations.

Библиографический список

1. 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.
2. Кулик К. Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель. Научно-агрономический журнал. 2022. № 3 (118). С. 8-13.
3. Беляев А. И. и др. Стратегические цели создания и развития селекционно-семеноводческого центра. Московский экономический журнал. 2020. № 7. С. 23.
4. Кретинин В. М., Кулик К. Н., Кошелев А. В. Агролесомелиоративное почвоведение: развитие, достижения, задачи. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 23-26.
5. Бондаренко Н. В. и др. Индикаторы образования: 2025: статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2025. 454 с.
6. Глотов С. А. Человекосбережение и обеспечение экономики кадрами в России: современные вызовы и задачи. Социальные новации и социальные науки. 2024. № 2 (15). С. 36-48.
7. Коваленко А. А., Федотов А. В. Обеспечение вузов научно-педагогическими кадрами высшей квалификации. Университетское управление: практика и анализ. 2024. Т. 28. № 3. С. 95-122.
8. Мониторинг (ВО). Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга деятельности образовательных организаций высшего образования. https://monitoring.miccedu.ru/?m=vpo
9. Фроловичев В. Н. Профессиональная карьера молодежи в лесной отрасли 21 века: перспективы в цифровом лесу. Стратегические региональные проекты и эколого-экономическое и социальное развитие территорий: материалы международной научно-практической конференции. М.: РАЕН, 2021. С. 170-174.
10. Научное и кадровое обеспечение лесопромышленного комплекса. Проблемы и пути их решения. Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации. http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/104215/
11. Кулик К. Н., Зюзь Н. С., Корпушов С. А. ВНИАЛМИ 85 лет. Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в Российской Федерации: материалы международной научно-практической конференции. Волгоград: ФГБНУ «ВНИАЛМИ», 2016. С. 9-18.
12. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): национальный доклад. М.: ООО «Издательство МБА», 2021. Т. 3. 700 с.
13. Семенютина А. В. и др. Методология подбора адаптированного генофонда древесных растений для агролесоводства. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2019. 139 с.
14. Зюзь Н. С. Всероссийский научно-исследовательский институт (ВНИАЛМИ). Краткая история. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. 114 с.
15. Егоров С. Ю. Работа диссертационных советов новой системы научной аттестации. Университетское управление: практика и анализ. 2022. № 1. С. 82-91.

References

1. Kulik K. N., Belyaev A. I., Pugacheva A. M. The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes. Arid ecosystems. 2023. V. 29. No. 1 (94). Pp. 4-14.
2. Kulik K. N. The current state of protective afforestation in the Russian Federation and their role in mitigating the effects of drought and desertification. Scientific and agronomic journal. 2022. No. 3 (118). Pp. 8-13.
3. Belyaev A. I. et al. Strategic goals of the creation and development of a breeding and seed center. Moscow Economic Journal. 2020. No. 7. P. 23.
4. Kretinin V. M., Kulik K. N., Koshelev A. V. Agroforestry soil science: development, achievements, tasks. Bulletin of the Russian Agricultural Science. 2020. No. 1. Pp. 23-26.
5. Bondarenko N. V. et al. Education indicators: 2025: statistical digest. Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2025. 454 p.
6. Glotov S. A. Human resource conservation and providing the economy with personnel in Russia: modern challenges and tasks. Social innovations and social sciences. 2024. No. 2 (15). Pp. 36-48.
7. Kovalenko A. A., Fedotov A. V. Providing Universities with Highly Qualified Research and Teaching Staff. University Management: Practice and Analysis. 2024. Vol. 28. No. 3. Pp. 95-122.
8. Monitoring (VO). Information and analytical materials based on the results of monitoring the activities of higher education institutions. https://monitoring.miccedu.ru/?m=vpo

9. Frolovichev V. N. Professional Career of Young People in the Forest Industry of the 21st Century: Prospects in the Digital Forest. Strategic Regional Projects and Ecological, Economic and Social Development of Territories: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Moscow: Russian Academy of Natural Sciences, 2021, Pp. 170-174.

10. Scientific and personnel support for the forestry complex. Problems and solutions. Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation. http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/104215/

11. Kulik K. N., Zyuz N. S., Korpushov S. A. VNIALMI 85 Years. Protective afforestation, land reclamation, problems of agroecology and agriculture in the Russian Federation: materials of the international scientific and practical conference. Volgograd: FGBNU "VNIALMI", 2016. Pp. 9-18.

12. Global Climate and Soil Cover of Russia: Manifestations of Drought, Prevention, Control, Elimination of Consequences, and Adaptation Measures (Agriculture and Forestry): National Report. Moscow: MBA Publishing House LLC, 2021. Vol. 3. 700 p.

13. Semenyutina A. V. et al. Methodology for Selecting an Adapted Gene Pool of Woody Plants for Agroforestry. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2019. 139 p.

14. Zyuz' N. S. All-Russian Research Institute (VNIALMI). A Brief History. Volgograd: VNIALMI, 2006. 114 p.

15. Egorov S. Yu. Work of Dissertation Councils of the New System of Scientific Certification. University Management: Practice and Analysis. 2022. No. 1. Pp. 82-91.

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, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0001-7124-8116, e-mail: kulikk@vfanc.ru

Манаенков Александр Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник – заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0002-2084-2147, e-mail: manaenkov-a@vfanc.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

Барабанов Анатолий Тимофеевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник – заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0001-9945-654X, e-mail: barabanov-a@vfanc.ru

Салугин Александр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0002-5443-73264, e-mail: salugin-a@vfanc.ru

Танюкевич Вадим Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0001-8052-6835, e-mail: tanyukevich-v@vfanc.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

Турусов Виктор Иванович, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В. В. Докучаева» (Российская Федерация, 397463, Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2 участка Института им. Докучаева, кв-л 5, 81), e-mail: turusoffvik@yandex.ru

Трещевская Элла Игоревна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» (Российская Федерация, 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), e-mail: ehllt@yandex.ru

Турчин Тарас Ярославович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, директор, Филиал ФБУ Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства «Южно-европейская научно-исследовательская лесная опытная станция» (Российская Федерация, 346270, Ростовская область, р-н Шолоховский, станица Вешенская, ул. Сосновая, 59 в), e-mail: t_turchin64@mail.ru

Authors' Information

Kulik Konstantin Nikolaevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief 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: 0000-0001-7124-8116, e-mail: kulikk@vfanc.ru

Manaenkov Aleksandr Sergeevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher – Head of Laboratory, 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: 0000-0002-2084-2147, e-mail: manaenkov-a@vfanc.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

Barabanov Anatoly Timofeevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher – Head of the Laboratory, Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (400062, Volgograd, Universitetsky Prospekt, 97, Russian Federation), ORCID: 0000-0001-9945-654X, e-mail: barabanov-a@vfanc.ru

Salugin Aleksandr Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief 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: 0000-0002-5443-73264, e-mail: salugin-a@vfanc.ru

Tanyukevich Vadim Viktorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, 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: 0000-0001-8052-6835, e-mail: tanyukevich-v@vfanc.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
Turusov Viktor Ivanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Laboratory, Chief Researcher, Voronezh Federal Agrarian Research Center named after V. V. Dokuchaev (Russian Federation, 397463, Voronezh Region, Talovsky District, settlement 2 of the Dokuchaev Institute site, Unit 5, bldg. 81), e-mail: turusoffvik@yandex.ru
Treshchevskaya Ella Igorevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov" (394087, Voronezh Region, Voronezh, Timiryazev Str., 8), e-mail: ehllt@yandex.ru
Turchin Taras Yaroslavovich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Director, Branch of the All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization "South European Forest Research Experimental Station" (Russian Federation, 346270, Rostov Region, Sholokhovsky District, Veshenskaya Village, Sosnovaya Str., 59v), e-mail: t_turchin64@mail.ru

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

THE BIOLOGICAL PREPARATIONS AND FUNGICIDE TREATMENTS EFFECT ON THE WINTER WHEAT GRAIN YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS

Aitpayeva A. A., Tyutyuma N. V.

Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoye Zaymishche, Chernyarsky District, Astrakhan Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: arman.bisaliev2012@yandex.ru

Received 04.04.2026 Submitted 24.04.2026

Abstract

Introduction. In the arid zones the risk of grain crop loss is due to extreme weather conditions, drought, and low soil fertility. Therefore, the search for drought- and heat-resistant varieties that are tolerant to stress factors and the development of adaptive cultivation technologies using biological preparations that stimulate plant growth and development, increasing resistance to adverse environmental conditions, diseases, and pests are urgently needed. **The objective of the study** was to evaluate the impact of biological preparations in combination with fungicide seed treatments on the main phenophases, biometric indicators, yield, and grain quality characteristics of winter wheat. **Research methods**. Field trials were conducted in 2017-2019 on light chestnut soils in the Limansky District of the Astrakhan Region. In two-factor experiments, the effect of the combined use of biological products and fungicide seed treatments on plant growth and development, yield, and grain quality characteristics of winter wheat varieties bred in Krasnodar and Zernograd was studied. **Results and conclusions**. It was established that among the three studied varieties, the highest yield was observed for the Krasnodar-bred variety Alekseich (in the variant using Orgamika S + Inshur Perform, the productivity was 6.5 t/ha). The least productive variety was the Zernograd-bred variety Donshchina (4.8 t/ha **under similar conditions**). The Alekseich variety also had the best grain quality indicators (gluten content 28 %, second quality group). The usage of the biological products contributed to a reduction in interphase periods, acceleration of ripening, and an increase in the biometric parameters of plants.

Keywords: *winter wheat varieties, yield, cultivation technologies, grain quality characteristics, pre-sowing seed treatment.*

Citation. Aitpayeva A. A., Tyutyuma N. V. The biological preparations and fungicide treatments effect on the winter wheat grain yield and quality characteristics. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 27-36 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-02.
Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, implementation and analysis of this study. The authors of this article have read and approved the presented final version.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.11"324"+632.937

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ И ФУНГИЦИДНЫХ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Айтпаева А. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
Тютюма Н. В., *доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН*

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»
с. Соленое Займище, Черноярский район, Астраханская область, Российская Федерация

Аннотация. В аридных зонах риск потери урожая зерновых обусловлен экстремальными погодными условиями, засухой и низким плодородием почв. В связи с этим актуальным является поиск засухо- и жаростойких сортов, толерантных к стрессовым факторам, и разработка адаптивных технологий их возделывания с применением биопрепаратов, стимулирующих рост и развитие растений,

повышающих устойчивость к неблагоприятным условиям среды, болезням и вредителям. **Цель исследования** – оценка влияния биопрепаратов совместно с фунгицидными протравителями на прохождение основных фенофаз, биометрические показатели, урожайность и качественные характеристики зерна озимой пшеницы. **Методы исследований**. Полевые опыты закладывались в 2017-2019 гг. на светло-каштановых почвах в Лиманском районе Астраханской области. В двухфакторных опытах изучалось влияние совместного применения биопрепаратов и фунгицидных протравителей на рост и развитие растений, урожайность и качественные характеристики зерна сортов озимой пшеницы краснодарской и зерноградской селекции. **Результаты и выводы**. Установлено, что среди трёх изучаемых сортов наибольшая урожайность отмечена у сорта краснодарской селекции Алексеич (на варианте с применением препаратов Оргамика С + Иншур Перформ продуктивность составила 6,5 т/га). Наименее урожайным оказался сорт зерноградской селекции Донщина (4,8 т/га в аналогичных условиях). Сорт Алексеич также отличался наилучшими качественными показателями зерна (содержание клейковины 28 %, вторая группа качества). Применение биопрепаратов способствовало сокращению межфазных периодов, ускорению созревания и увеличению биометрических параметров растений.

Ключевые слова: *сорта озимой пшеницы, урожайность, технологии возделывания, качественные характеристики зерна, предпосевная обработка семян.*

Цитирование. Айтпаева А. А., Тютюма Н. В. Влияние биопрепаратов и фунгицидных протравителей на урожайность и качественные характеристики зерна озимой пшеницы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 27-36. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-02.

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. Астраханская область относится к аридной зоне. Основным фактором, лимитирующим урожайность озимой пшеницы здесь, является влага. Почвы региона отличаются низким плодородием, запасы гумуса в среднем по области не превышают 1,4 %, на многих площадях наблюдаются усиливающиеся с каждым годом деградационные процессы [1, 2]. В течение вегетации растения озимой пшеницы неоднократно испытывают действие стрессовых факторов, таких как высокие среднесуточные температуры воздуха, низкие запасы продуктивной влаги в почве, недостаток питательных веществ [3].

В этих условиях на первый план выходит адаптивная селекция, направленная на выведение засухоустойчивых сортов озимой пшеницы [4, 5, 6]. Большое значение в реализации генетического потенциала сортов имеет соответствующая конкретному сорту технология возделывания [7, 8, 9].

Особую роль при этом играет широкое применение элементов биологизации земледелия. Одним из таких элементов является обработка семян непосредственно перед посевом биопрепаратами, оказывающими положительное влияние на дружность всходов, защиту растений от болезней и вредителей [10, 11, 12].

Цель исследований – оценить влияние биопрепаратов и фунгицидных протравителей, предназначенных для предпосевной обработки семян, на урожайность и качественные характеристики зерна озимой пшеницы краснодарской и зерноградской селекции.

Задачи:

- определить влияние биопрепаратов и фунгицидных протравителей на фенологию сортов озимой пшеницы;
- оценить влияние биопрепаратов и фунгицидных протравителей на биометрические показатели растений;
- изучить влияние препаратов на урожайность и качественные характеристики зерна сортов изучаемой культуры.

Методы. Для проведения исследований в 2017-2019 гг. закладывался двухфакторный полевой опыт методом расщеплённых делянок [13]. Почвы опытного участка светло-каштановые. Содержание гумуса в пределах 0,5-1,0 %. В пахотном слое 0,00-0,20 м: гидролизуемого азота 40-55 мг/кг, подвижного фосфора 34-44 мг/кг, подвижного калия 300-400 мг/кг.

Учетная площадь делянки 100 м^2, повторность опыта – четырехкратная. В течение вегетационного периода осуществляли дифференцированный режим орошения озимой пшеницы путем поддержания нижнего порога влажности почвы в слое 0,0-0,4 м в период кущения – не ниже 75 % НВ, в периоды трубкования, колошения и налива зерна – не ниже 80 % НВ, с последующим снижением до 60-65 % НВ за 2-3 недели до уборки.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experimental design

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (предпосевная обработка семян) / Factor B (pre-sowing seed treatment)
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S+Insure Perform
Алексеич / Alekseich	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S+Insure Perform
Таня / Tanya	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S+Insure Perform

Характеристика препаратов:

Биодукс – универсальный микробиологический препарат на основе бактерий Bacillus. Норма расхода для обработки семян озимой пшеницы – 2,0-3,0 л/т.

Иншур Перформ – высокоэффективный суперсмачиватель, пенетрант и прилипатель. Норма расхода – 0,5 л/т семян.

Оргамика С – комплексный бактериально-грибной препарат с фунгицидным и ростостимулирующим действием. Норма расхода – 0,5 л/т семян.

Обработку семян осуществляли за день до посева в машине ПС-10. Расход рабочей жидкости – 10 л на 1 т семян.

Характеристика сортов:

В качестве стандарта выступал сорт зерноградской селекции Донщина.

Алексеич. Полукарликовый, высота растений 0,81 м, устойчив к полеганию. Среднеспелый. Потенциал продуктивности – до 12 т/га. Масса 1000 зёрен 38-41 г. Высокие хлебопекарные качества.

Таня. Скороспелый, устойчив к полеганию. Масса 1000 зёрен 45,4-46,5 г, натура 795-810 г/л. Устойчив к жёлтой и стеблевой ржавчине, мучнистой росе, пыльной головне. Высокая засухоустойчивость, морозостойкость выше средней.

Результаты исследований. Полевые опыты проводились на территории, относящейся к резко засушливому агроклиматическому району Астраханской области.

Продолжительность межфазных периодов колебалась по годам исследований в зависимости от погодных условий. Негативное воздействие засухи в 2018 году способствовало удлинению продолжительности межфазных периодов. Данные по фенологии озимой пшеницы по годам исследований и в среднем за три года представлены в таблице 2.

Анализ продолжительности межфазных периодов по годам продемонстрировал, что в наиболее благоприятных 2017 и 2019 годах погодные условия были близки к идеальным, что позволило растениям проходить все фазы развития быстрее и гармоничнее. Поэтому значения в таблицах 2017 и 2019 гг. ниже, чем в среднем за 3 года.

В 2018 году недостаток влаги в ключевые периоды (выход в трубку, колошение) вызвал стресс у растений. Это привело к замедлению развития в критические фазы из-за стресса.

Несмотря на колебания, связанные с погодными условиями, во всех случаях обработка семян биопрепаратами (особенно Оргамика С) показывает стабильный положительный эффект, ускоряя развитие растений по сравнению с контролем.

Биопрепараты не просто «ускоряют» развитие, а оптимизируют и интенсифицируют ключевые физиолого-биохимические процессы. Это приводит к качественно иному прохождению онтогенеза.

Сокращение периода вегетации происходит не за счет «сжатия времени», а за счет устранения факторов, задерживающих развитие, и стимуляции физиологических переходов.

1. Биопрепараты способствуют снятию биотического стресса. Здоровое растение, не тратящее ресурсы на борьбу с болезнями и восстановление повреждённых тканей, развивается по оптимальному сценарию, без «простоев». Биопрепараты создают условия, при которых растение реализует свой генетический потенциал скорости развития без задержек, вызванных дефицитом питания, гормональным дисбалансом или болезнями. Прибавка урожая является прямым следствием оптимизации. Эффективность использования ресурсов (CO_2, света, воды, элементов питания) на единицу времени резко возрастает.

Таблица 2 – Фенология озимой пшеницы, среднее за 2017-2019 гг.
Table 2 – Winter wheat phenology, average for 2017...2019

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (предпосевная обработка семян) / Factor B (pre-sowing seed treatment)	Всходы, суток / Seedlings, days	Осеннее кущение, суток / Autumn tillering, days	Весеннее кущение, суток / Spring till-ering, days	Выход в трубку, суток / Exit to the tube, days	Колошение, суток / Earing, days	Цветение, суток / Flowering, days	Молочная спелость, суток / Milk ripeness of grain, days	Восковая спелость, суток / Wax ripeness, days	Полная спелость, суток / Full ripeness of grain, days
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	20,3 ± 2	25,3 ± 2	35,3 ± 2	30,7 ± 2	5,3 ± 2	10,0 ± 2	10,3 ± 2	10,3 ± 2	5,3 ± 2
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform	17,3 ± 2	28,3 ± 2	33,3 ± 2	28,7± 2	4,3 ± 2	8,3 ± 2	9,3 ± 1	10,3 ± 2	4,3 ± 2
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	15,3 ± 1	30,3 ± 1	31,3 ± 1	27,7 ± 2	3,3 ± 1	8,3 ± 2	9,3 ± 2	9,3 ± 1	4,3 ± 2
Алексеич / Alekseich	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	18,3 ± 2	27,3 ± 2	31,3 ± 2	26,7 ± 2	5,3 ± 2	9,3 ± 2	8,3 ± 2	8,3 ± 2	3,3 ± 2
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform	16,3 ± 1	29,3 ± 1	30,3 ± 1	25,7 ± 1	4,3 ± 1	8,3 ± 1	8,3 ± 2	7,3 ± 1	3,3 ± 2
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	13,3 ± 1	32,3 ± 1	28,3 ± 1	25,7 ± 1	3,3 ± 1	8,3± 2	8,3 ± 1	8,3 ± 2	3,3 ± 2
Таня / Tanya	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	16,3 ± 2	29,3 ± 2	33,3 ± 2	28,7 ± 2	4,3 ± 2	9,3 ± 2	9,3 ± 2	9,3 ± 2	4,3 ± 2
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform	16,3 ± 1	29,3 ± 1	30,3 ± 2	25,7 ± 1	4,3 ± 1	8,3 ± 1	8,3 ± 1	7,3 ± 2	3,3 ± 2
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	14,3 ± 1	31,3 ± 1	31,3 ± 1	27,7 ± 1	3,3 ± 1	8,3 ± 2	9,3 ± 1	8,3 ± 1	3,3 ± 2

2. Формирование мощного фотосинтетического аппарата происходит раньше. Благодаря хорошему старту растение быстрее смыкает листовой полог и выходит на максимальную фотосинтетическую продуктивность. Период чистой продуктивности фотосинтеза (когда растение активно накапливает ассимиляты в хозяйственно полезной части) начинается раньше и проходит интенсивнее.

3. Эффективное перераспределение ассимилятов (источник – сток). Это ключевой момент. У здорового, хорошо питающегося растения мощный «источник» – большая листовая поверхность, активно работающая. Мощный и активный «сток» – быстро формирующиеся генеративные органы, обладающие высокой силой притяжения ассимилятов. Биопрепараты (особенно через гормональную регуляцию) усиливают «силу стока». Питательные вещества не «застревают» в вегетативных органах и не тратятся на вторичные процессы, а быстро и направленно транспортируются в урожай. Это увеличивает коэффициент хозяйственной эффективности (долю урожая в общей биомассе).

4. Хотя общий период вегетации сокращается, фаза, наиболее важная для формирования урожая (например, период цветение-налив зерна у зерновых), проходит в более благоприятных условиях. Растение успевает завершить налив зерна до наступления позднелетних стрессов (засуха, жара), что повышает качество и выполненность урожая (масса 1000 семян, содержание клейковины.

5. Компенсация сокращения времени увеличением интенсивности. Растение с биопрепаратами работает как «высокоэффективный конвейер», быстрее усваивает элементы, быстрее фотосинтезирует, быстрее откладывает ассимиляты в запас. Биопрепараты сокращают период вегетации не за счет «обрыва» развития, а за счет устранения лимитирующих факторов (стресс, голод, болезни), что позволяет растению проходить все фазы развития максимально быстро и синхронно. Прибавка урожая достигается благодаря качественному изменению физиологии, формированию более эффективного фотосинтетического аппарата и мощной корневой системы, оптимизации распределения ассимилятов, усилению оттока питательных веществ именно в хозяйственно полезные органы (урожай), повышению эффективности использования ресурсов (воды, света, элементов питания) в единицу времени, снижению потерь от абиотических и биотических стрессов в критические фазы [14, 15].

Анализ таблицы 3 показал, что соответствие роста и развития растений озимой пшеницы обеспечивало увеличение биометрических показателей, что в конечном итоге благоприятно отражалось на урожайности изучаемой культуры:

- 2017 год был относительно благоприятным. Биометрические показатели достигли средних значений;
- 2018 год оказался засушливым. Наблюдалось значительное снижение по всем параметрам, особенно по количеству зерен в колосе и массе 1000 зерен, что характерно для стресса от засухи в критические фазы развития;
- 2019 год по количеству выпавших осадков в течение весенне-летней вегетации озимой пшеницы превосходил все остальные годы исследований, в связи с чем биометрические показатели достигли максимальных значений.

Вместе с тем проведение своевременных поливов обеспечило получение стабильных урожаев изучаемой культуры. В среднем за 3 года запасы продуктивной влаги в почве составили 562 м^3/га, количество выпавших осадков 1197 м^3/га, оросительная норма 3000 м^3/га, суммарное водопотребление 4759 м^3/га. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что сорта озимой пшеницы краснодарской и зерноградской селекции в условиях орошения в Лиманском районе Астраханской области способны давать урожайность зерна на уровне 4,5…6,5 т/га при соблюдении агротехники и применении передовых технологий возделывания.

Таблица 3 – Биометрические показатели озимой пшеницы, среднее за 2017-2019 гг.
Table 3 – Biometric indicators of winter wheat, average for 2017…2019

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (предпосевная обработка семян) / Factor B (pre-sowing seed treatment)	Высота, м / Height, m	Длина колоса, м / Ear length, m	Число продуктивных стеблей, шт. / растение / Number of productive stems, pcs/plant	Число колосков в колосе, шт. / Number of spikelets in an ear, pcs	Количество зерна в колосе, шт. / Number of grains in an ear, pcs.	Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	0,60	0,08	1,2	14	32	0,9	28
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform	0,62	0,08	1,27	15	34	1,0	30
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S+Insure Perform	0,65	0,09	1,3	16	35	1,1	32
Алексеич / Alekseich	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	0,77	0,08	1,4	20	36	1,1	31
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform	0,82	0,09	1,46	22	38	1,2	32
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S+Insure Perform	0,85	0,09	1,5	24	40	1,3	35
Таня / Tanya	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	0,73	0,08	1,23	16	34	1,0	30
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform	0,78	0,08	1,35	18	36	1,1	31
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S+Insure Perform	0,81	0,09	1,36	19	37	1,2	33

Таблица 4 – Урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян

Table 4 – Yield of winter wheat varieties depending on pre-sowing seed treatment

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (предпосевная обработка семян) / Factor B (pre-sowing seed treatment)	2017	2018	2019	Урожайность зерна, среднее за 2017-2019 гг., т/га / Grain yield, average for 2017-2019, t/ha
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	3,7	3,5	3,9	3,7
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux + Insur Perform	4,5	4,2	4,8	4,5
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	4,9	4,6	5,0	4,8
Алексеич / Alekseich	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	5,4	5,2	5,6	5,4
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux + Insur Perform	6,2	6,1	6,2	6,2
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	6,5	6,4	6,6	6,5
Таня / Tanya	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	4,3	4,1	4,5	4,3
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux+Insur Perform	5,2	5,0	5,4	5,2
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	5,8	5,2	5,9	5,6
НСР А НСР В $НСР_{05\ АВ}$		0,21 0,21 0,36	0,17 0,17 0,30	0,17 0,17 0,29	0,18 0,18 0,32

По результатам исследований за 2017-2019 годы наибольшая урожайность отмечена у сорта Алексеич при применении препаратов Оргамика С + Иншур Перформ, составившая 6,5 т/га. Минимальный показатель урожайности оказался у сорта Донщина на контроле без обработки (3,7 т/га). Статистический анализ подтвердил достоверность этих данных во все годы исследований.

На всех вариантах опыта сочетание биопрепарата с протравителем Оргамика С + Иншур Перформ показало большую эффективность по сравнению с комбинацией Биодукс + Иншур Перформ, обеспечивая максимальный прирост продуктивности на изучаемых сортах.

Качество зерна имеет не менее важное значение, чем урожайность. Хотя в регионе озимую пшеницу преимущественно возделывают на фуражные цели, некоторые производители получают зерно среднего качества, которое после смешивания с сильной пшеницей может использоваться для продовольственных нужд.

Проведенный трехлетний анализ показывает статистически значимое влияние ($p < 0,05$) как фактора (А) – сорта, так и фактора (В) – предпосевной обработки семян на качественные показатели зерна сортов озимой пшеницы.

Сорт «Алексеич» во все годы исследований демонстрировал превосходство по комплексу качественных показателей: наибольшее содержание и качество клейковины, высокая натура и стекловидность.

Таблица 5 – Качественные характеристики зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян, среднее за 2017-2019 гг.
Table 5 – Quality characteristics of winter wheat varieties grain depending on pre-sowing seed treatment, average for 2017…2019.

Фактор А (сорт) / Factor A (variety)	Фактор В (предпосевная обработка семян) / Factor B (pre-sowing seed treatment)	Клейковина,% / Gluten, %	ИДК, ед. / IDK, unit	Натура, г/л / Nature, g/l	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Стекловидность % / Vitreousness %
Донщина (стандарт) / Donshchina (standard)	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	22	112	735	36	53
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux + Insur Perform	25	99	760	38	55
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	26	96	770	41	58
Алексеич / Alekseich	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	23	105	740	39	58
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux +I nsur Perform	26	98	770	42	60
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	28	95	780	44	62
Таня / Tanya	Без обработок (контроль) / Without treatment (control)	22	110	737	37	56
	Биодукс + Иншур Перформ / Biodux + Insur Perform	26	95	765	40	57
	Оргамика С + Иншур Перформ / Orgamica S + Insure Perform	27	90	775	42	60

Применение биопрепаратов достоверно повышало качество зерна. Наибольшая эффективность отмечена при использовании комплекса Оргамика С + Иншур Перформ, который обеспечивал увеличение содержания сырой клейковины на 2-4 % абсолютных процентов относительно контроля, улучшение качества клейковины (снижение ИДК на 10-20 единиц), что переводит ее из категории «слабой» в «среднюю», повышение натуры зерна на 25-45 г/л и массы 1000 зерен на 2-5 грамм. Эффект от применения биопрепаратов был наиболее выражен на сорте «Алексеич», что указывает на положительное взаимодействие генотипа и технологии. Несмотря на значительные межгодовые колебания метеоусловий, технология предпосевной инокуляции семян биопрепаратами показала стабильную эффективность, максимально реализуясь в благоприятных условиях (2017 и 2019 гг.) и существенно смягчая последствия стрессовых факторов в засушливый 2018 год.

Выводы. 1. В среднем за три года исследований наиболее урожайным оказался сорт краснодарской селекции Алексеич (6,5 т/га на варианте Оргамика С + Иншур Перформ).

2. Наибольшее содержание клейковины также отмечено у сорта Алексеич (28 %, вторая группа качества) на том же варианте. На остальных вариантах содержание клейковины варьировало от 23 до 27 %.

3. Зерно, соответствующее требованиям сильной пшеницы (содержание клейковины не менее 28 % первой группы качества), не сформировано ни у одного сорта за рассматриваемый период. Вместе с тем у всех изучаемых сортов на всех вариантах, кроме контроля без обработки, формировалось зерно среднего качества.

4. Масса 1000 зёрен, натура и стекловидность зерна были наибольшими у сорта Алексеич, наименьшими – у сорта Донщина.

5. Биопрепараты способствовали сокращению межфазных периодов, ускорению созревания и увеличению биометрических показателей растений.

Conclusions. 1. On average, over three years of research, the most productive variety was the Krasnodar-bred Alekseich variety (6.5 t/ha on the Organica C + Inshur Perform variant).

2. The highest gluten content was also noted in the Alekseich variety (28 %, second quality group) on the same variant. On the other variants, the gluten content varied from 23 to 27 %.

3. Grain that meets the requirements of strong wheat (gluten content of at least 28 % of the first quality group) was not formed in any of the varieties during the period under review. However, grain of medium quality was formed in all of the studied varieties in all treatments except for the untreated control.

4. The mass of 1,000 grains, the grain's naturalness, and its glassiness were the highest in the Alekseich variety and the lowest in the Donshchina variety.

5. Biological preparations contributed to the reduction of interphase periods, acceleration of maturation, and increase in the biometric indicators of plants.

Библиографический список

1. Плескачев Ю. Н., Костин М. В. Деградация земель в Нижнем Поволжье. Полевые исследования. 2020. № 7. С. 124-133.

2. Недикова Е. В., Садыгов Э. А. Оптимизация структуры агроландшафтов для рациональной организации землепользования в условиях деградации земель. Регион: системы, экономика, управление. 2022. № 1 (56). С. 181-187.

3. Zenda T., Wang N., Dong A., Zhou Y., Duan H. Reproductive-Stage Heat Stress in Cereals: Impact, Plant Responses and Strategies for Tolerance Improvement. International Journal of Molecular Sciences. 2022. V. 23. Art. 6929.

4. Грабовец А. И., Фоменко М. А., Олейникова Т. А., Железняк Е. А. Новые сорта озимой мягкой пшеницы - итог реализации разработок по селекции на продуктивность и адаптивность Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 19-23.

5. Темирбекова С. К., Куликов И. М., Афанасьева Ю. В., Охотникова Т. В. Изучение исходного материала озимой пшеницы для селекции устойчивых к стрессовым факторам сортов. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 8-14.

6. Дубинкина Е. А., Беляев Н. Н. Поиск адаптивных сортов озимой мягкой пшеницы для Центрального Черноземья. Аграрная Россия. 2024. № 9. С. 8-12.

7. Березнева А. С. Физиологические основы формирования продуктивности озимой пшеницы в зависимости от технологий выращивания. Экологический Вестник Северного Кавказа. 2025. Т. 21. № 1. С. 18-25.

8. Плескачев Ю. Н., Борышов Р. Ю., Анишко М. Ю. и др. Совершенствование технологии возделывания озимой пшеницы в Нижнем Поволжье. Аграрная Россия. 2024. № 12. С. 17-20.

9. Романенков В. А., Павлова В. Н., Беличенко М. В. Агротехнологические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур. Агрохимия. 2022. № 12. С. 19-30.

10. Магомедова Д. С., Курбанов С. А. Эффективность применения препарата Биостим зерновой в технологии возделывания озимой мягкой пшеницы. Российский журнал «Многофункциональное сельское хозяйство». 2024. № 3. С. 11-15.

11. Тедеева А. А., Тедеева В. В. Влияние биопрепаратов и минерального удобрения на продуктивность озимой пшеницы. Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25. № 9.

12. Ямскова О. В., Романова В. С., Курилов Д. В., Щуклина О. А. Фуллерен С60 и аминокислотные производные фуллерена С60 как биопрепараты для стимуляции роста озимой пшеницы, повышения жизнестойкости и урожайности растений. Биотехнология. 2024. Т. 40. № 2. С. 93-103.

13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Лань. 2022. 352 с.

14. Потапов Е. А., Кувшинова Е. К., Бельтюков Л. П. Влияние биопрепаратов на элементы структуры и урожайность сортов озимой пшеницы в посевах по черному пару. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 12 (182). С. 5-10.

15. Pospielova G., Kovalenko N., Pospielov S., Lytvynenko S., Syvash K. The effectiveness of using biological preparations on winter wheat. Scientific Progress & Innovations. 2024. No 27 (4). Pp. 37-42.

References

1. Pleskachev Yu. N., Kostin M. V. Land degradation in the Lower Volga region. Field studies. 2020. No 7. Pp. 124-133.

2. Nedikova E. V., Sadygov E. A. Optimization of the structure of agricultural landscapes for rational land use organization under land degradation conditions. Region: Systems, Economics, Management. 2022. No 1 (56). Pp. 181-187.

3. Zenda T., Wang N., Dong A., Zhou Y., Duan H. Reproductive-Stage Heat Stress in Cereals: Impact, Plant Responses and Strategies for Tolerance Improvement. International Journal of Molecular Sciences. 2022. V. 23. Art. 6929.

4. Grabovets A. I., Fomenko M. A., Oleinikova T. A., Zheleznyak E. A. New varieties of winter soft wheat – the result of implementation of developments in breeding for productivity and adaptability. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2021. No 2. Pp. 19-23.

5. Temirbekova S. K., Kulikov I. M., Afanasyeva Yu. V., Okhotnikova T. V. Study of initial material of winter wheat for breeding varieties resistant to stress factors. Bulletin of Russian Agricultural Science. 2021. No 2. Pp. 8-14.

6. Dubinkina E. A., Belyaev N. N. Search for adaptive varieties of winter soft wheat for the Central Chernozem region. Agrarian Russia. 2024. No 9. Pp. 8-12.

7. Berezneva A. S. Physiological bases of winter wheat productivity formation depending on cultivation technologies. Ecological Bulletin of the North Caucasus. 2025. Vol. 21. No 1. Pp. 18-25.

8. Pleskachev Yu. N., Boryshov R. Yu., Anishko M. Yu., et al. Improvement of winter wheat cultivation technology in the Lower Volga region. Agrarian Russia. 2024. No 12. Pp. 17-20.

9. Romanenkov V. A., Pavlova V. N., Belichenko M. V. Agrotechnological possibilities of managing climatic risks in grain crop cultivation. Agrochemistry. 2022. No 12. Pp. 19-30.
10. Magomedova D. S., Kurbanov S. A. Effectiveness of the use of Biostim grain preparation in the technology of winter soft wheat cultivation. Russian Journal "Multifunctional Agriculture". 2024. No 3. Pp. 11-15.
11. Tedeeva A. A., Tedeeva V. V. Influence of bio-preparations and mineral fertilizer on winter wheat productivity. Agrarian Bulletin of the Urals. 2025. Vol. 25. No 9.
12. Yamskova O. V., Romanova V. S., Kurilov D. V., Shchuklina O. A. Fullerene C60 and amino acid derivatives of fullerene C60 as bio-preparations for stimulating the growth of winter wheat, increasing plant viability and yield. Biological technology. 2024. Vol. 40. No 2. Pp. 93-103.
13. Dospekhov B. A. Methods of field experiment (with fundamentals of statistical processing of research results). Moscow: Lan. 2022. 352 p.
14. Potapov E. A., Kuvshinova E. K., Beltyukov L. P. Influence of bio-preparations on structural elements and yield of winter wheat varieties in crops on black fallow. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2019. No 12 (182). Pp. 5-10.
15. Pospielova G., Kovalenko N., Pospielov S., Lytvynenko S., Syvash K. The effectiveness of using bio-preparations on winter wheat. Scientific Progress & Innovations. 2024. No 27 (4). Pp. 37-42.

Информация об авторах
Айтпаева Айгуль Алдунгаровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, научный сотрудник, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8), ORCID 0000-0003-3898-5813, e-mail: arman.bisaliev2012@yandex.ru
Тютюма Наталья Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8), ORCID ID № 0000-0001-6582-2628, e-mail: pniiaz@mail.ru
Authors' Information
Aitpayeva Aigul Aldungarovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Research Associate, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (PAS FSC RAS) (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernyarsky District, Solenoye Zaymishche village, Northern Block, 8), ORCID: 0000-0003-3898-5813, e-mail: arman.bisaliev2012@yandex.ru
Tyutyuma Natalia Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (PAS FSC RAS) (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernyarsky District, Solenoye Zaymishche village, Northern Block, 8), ORCID: 0000-0001-6582-2628, e-mail: pniiaz@mail.ru

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

THE AGRICULTURAL LAND RENTAL FEE SETTING SPECIFICITY

Balashova N. N., Nemchenko A. V.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: balashova_nat@mail.ru, volgsnemchenko@mail.ru

Received 15.04.2026 Submitted 27.05.2026

The study was funded by a grant from the Committee for Education and Science of the Volgograd Region under project No. 25-813-80650-1-0138-000025 "Development and Application of Tools for Setting Rental Rents for Agricultural Land".

Summary
The article highlights the main approaches to setting the amount of rent for the use of agricultural land, and examines their main advantages and disadvantages, taking into account the specifics of agricultural production. The author proposes an approach to determining the fair rental value of agricultural land for the conditions of the Volgograd Region.

Abstract
Introduction. In the context of sanctions and global geopolitical instability, agricultural production is becoming a key strategic advantage for our country, capable of not only ensuring food sovereignty but also serving as a source of foreign exchange through the development of agricultural exports. At the same time, efficient agricultural production is impossible without advanced production technologies and sufficient resources, among which land holds a special place. Land is the determining factor in virtually all aspects of agricultural production; it is capable of not only replenishing but also improving its fertility when all necessary agricultural processes are followed, thereby generating additional income. Furthermore, the majority of agricultural land is leased, thereby highlighting the need to establish a fair value for its use for both the lessee and the lessor. **Object.** The object of the research is the mechanism for forming rent for agricultural land. **Materials and methods.** The theoretical basis of the study is represented by publications of researchers in the field of adaptation and improvement of the mechanism for setting rents for agricultural land. The information base includes official data from the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography, the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, the Federal State Statistics Service, the Administration of the Volgograd Region and Municipal Districts of the Volgograd Region, the Committee of Agriculture of the Volgograd Region, periodical press data, as well as the regulatory framework governing relations arising in

the process of renting agricultural land. appointments. Such approaches as systematic and logical were used, and monographic, economic and statistical, as well as the method of expert assessments and scientific abstraction were used as research methods. **Results and conclusion.** Within the framework of the presented research, a number of approaches and methods for setting rents for agricultural land are considered, their weaknesses and strengths are identified. Taking into account the identified features, the specifics of setting the amount of rent for agricultural land have been established, taking into account the type of land use, the quality (fertility) of the soil, the duration of the lease period, weather conditions, the need for crop rotation with rational crop rotation, as well as the need for state support for unprofitable areas of agricultural production.

Keywords: *agricultural land, land lease, land use, rent, setting the rent rate.*

Citation. Balashova N. N., Nemchenko A. V. The agricultural land rental fee setting specificity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 36-43 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2026-03-03.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 332.334.4:631.1+332.63(470.45)

СПЕЦИФИКА УСТАНОВЛЕНИЯ РАЗМЕРА АРЕНДНОЙ ПЛАТЫ ЗА ЗЕМЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Балашова Н. Н., *доктор экономических наук, профессор*
Немченко А. В., *кандидат экономических наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет средств гранта Комитета образования и науки Волгоградской области по проекту №25-813-80650-1-0138-000025 «Разработка и применение инструментария установления арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения».

Актуальность. В условиях санкционной борьбы и мировой геополитической нестабильности аграрное производство становится ключевым стратегическим преимуществом нашей страны, способным не только обеспечить продовольственный суверенитет, но и послужить источником поступления валюты при развитии экспорта сельскохозяйственной продукции. В то же время эффективное производство сельскохозяйственной продукции невозможно без передовых технологий производства, а также достаточного количества ресурсов среди которых особое место принадлежит земле. Именно земля выступает определяющим фактором, за счет которого формируются практически все особенности агропроизводства, именно она способна не только восполнять, но и улучшать свое плодородие при соблюдении всех необходимых агротехнологических процессов, позволяя получать от этого дополнительный доход. В свою очередь, большая часть земель сельскохозяйственного назначения находится в аренде, актуализируя тем самым необходимость формирования справедливой стоимости за её использование как для арендатора, так и для арендодателя. **Объект.** Объектом исследований является механизм формирования арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения. **Материалы и методы.** Теоретическая база исследования представлена публикациями ученых в области адаптации и совершенствования механизма установления арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения. Информационная база – официальные данные Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральной службы государственной статистки, администрации Волгоградской области и муниципальных районов Волгоградской области, комитета сельского хозяйства Волгоградской области, данные периодической печати, а также нормативно-правовая база, регулирующая отношения, возникающие в процессе аренды земель сельскохозяйственного назначения. Использовались такие подходы как системный и логический, а в качестве методов исследования применялись монографический, экономико-статистический, а также метод экспертных оценок и научной абстракции. **Результаты и выводы.** В рамках представленного исследования рассмотрен ряд подходов и методов установления арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения, определены их слабые и сильные стороны. С учетом выявленных особенностей определена специфика формирования размера арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения, учитывающая вид землепользования, качество (плодородие) почвы, длительность срока аренды, погодные условия, необходимость чередования культур при рациональном севообороте, а также важность государственной поддержки убыточных направлений сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: *земли сельскохозяйственного назначения, аренда земель, землепользование, арендная плата, установление размеров арендной платы.*

Цитирование. Балашова Н. Н., Немченко А. В. Специфика установления размера арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 36-43. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-03.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. По данным Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, на 1 января 2025 г. в России площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет 374 129,1 тыс. га. При этом в государственной и муниципальной собственности находится 65,19 % (земли, находящиеся в государственной и муниципальной собственности, включают в себя неразграниченные земли), из которых в собственности Российской Федерации – 1,69 %, в собственности субъекта Российской Федерации – 3,17 %, в муниципальной собственности – 5,70 %. Следовательно, на Федеральном уровне большая часть земель сельскохозяйственного назначения находится в аренде.

Для условий Волгоградской области в период с 2019 по 2024 г. доля аренды в общей площади земель сельскохозяйственного назначения выросла с 75 % до 85 %, приблизившись к значению 8 млн га [1].

Классическая форма аренды – это временная передача владельцем земли юридического права на ее использование другому субъекту – арендатору. В этой связи аренда стала ещё одним направлением для развития, повышения эффективности аграрного производства, а также углубления специализации. С другой стороны, именно возможность взять сельскохозяйственные земли во временное пользование дала неоспоримые преимущества крупным агропроизводителям по отношению к мелким и средним, снижая тем самым возможность справедливой конкуренции и подрывая основу преимуществ мелкотоварного сельского хозяйства [2]. Таким образом, созданный в Российской Федерации институт частной собственности на земли сельскохозяйственного назначения не смог решить весь спектр насущных проблем землепользования. Связано это, в первую очередь, с тем, что перед всеми хозяйствующими субъектами аграрной сферы рано или поздно встает вопрос о временном обладании земельными участками сельскохозяйственного назначения или, наоборот, сдаче их в аренду, например, для компенсации текущих расходов на их содержание или развития более перспективных видов деятельности [3].

В этой связи особую актуальность приобретает установление платы, которая будет взиматься за пользование этими землями (арендная плата). В основе ее расчета должен лежать воспроизводственный подход, ориентированный на постоянное развитие сельского хозяйства как основного стратегического преимущества страны. Следовательно, величина арендной платы за землепользование должна обеспечивать условия, как минимум, простого воспроизводства в целом по отрасли или по производству отдельных видов сельскохозяйственной продукции. При этом во главу угла должно быть положено формирование стимулов у арендатора совершенствовать свои технико-технологические условия производства, а у арендодателя – взаимодействовать с агропроизводителями, планирующими долгосрочное сотрудничество, стоящими на инновационном пути развития и нацеленными на использование в своей деятельности передовых технологий, в том числе цифровых.

Материалы и методы. В качестве теоретической базы исследования послужили работы современных ученых, занимающихся вопросами земельных отношений в части изучения и совершенствования арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения. В качестве информационной базы для написания статьи выступили официальные данные Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральной службы государственной статистки, администрации Волгоградской области и муниципальных районов Волгоградской области, комитета сельского хозяйства Волгоградской области, данные периодической печати, а также нормативно-правовая база, регулирующая отношения, возникающие в процессе аренды земель сельскохозяйственного назначения.

В ходе проведенной научной работы были использованы такие подходы как системный и логический, а в качестве методов исследования применялись монографический, экономико-статистический, а также метод экспертных оценок и научной абстракции.

Результаты и обсуждение. На современном этапе существуют различные механизмы установления арендных ставок для землепользования по отдельным участкам, начиная от рыночных механизмов, например, проведения аукциона, и заканчивая дирек-

тивными, т. е. устанавливающими определенную стоимость аренды в законодательных актах. Так, в условиях отдельных регионов и муниципальных районов начисление арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения осуществляется в соответствии с постановлениями глав администраций, обеспечивающих единый подход к определению и внесению арендной платы за пользование земельными участками и обеспечение полного и своевременного поступления арендных платежей [4]. В связи с этим обоснованность методики расчета и всех ее показателей будет влиять на результаты производства сельскохозяйственной продукции арендатором, а также на сумму дохода арендодателя (пополнение бюджета). К тому же формирование величины арендной платы должно учитывать и специализацию отдельных территорий, о которой можно судить как по структуре выручки, так и по структуре землепользования. В условиях Волгоградской области сформировались свои особенности и закономерности землепользования (таблица 1).

Таблица 1 – Структура землепользования по видам сельскохозяйственных культур в Волгоградской области в среднем за 2020-2024 гг.
Table 1 – Land use structure by crop type in the Volgograd Region in 2020-2024 on average

Наименование культуры / Crop name	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем за 5 лет / On average for 5 years
Зерновые и зернобобовые / Cereals and legumes	67,42	59,49	66,25	64,34	64,44	64,39
Технические / Technical crops	26,69	34,56	28,61	30,23	30,01	30,02
Картофель и овощебахчевые / Potatoes and melons	2,11	2,06	1,81	1,88	1,79	1,93
Кормовые / Fodder crops	3,78	3,89	3,33	3,55	3,76	3,66
Итого / Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Схожая ситуация прослеживается и при анализе структуры выручки от реализации продукции растениеводства в Волгоградской области, где основной удельный вес приходится на зерновую, масличную и овощеводческую продукцию. Соответственно, основной упор в дальнейшем исследовании будет сделан на формирование объективной величины арендной платы за земли, на которых возделываются именно эти виды продукции.

В мировой и отечественной науке и практике известны разные методические подходы к определению суммы арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения. Так одной из наиболее распространенных групп методов расчета арендной платы являются методы, основанные на рентном доходе [5].

В широком смысле земельная рента представляет собой доход от использования земли, не связанный непосредственным образом с производственной деятельностью собственника земли, а получаемый им за предоставление земли как природного ресурса, также сюда может быть отнесена часть прибыли от использования земли хозяйствующими на ней субъектами, которую получает собственник земли в соответствии со своим правом собственности.

В случае использования рентной основы установления арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения возникают определенные сложности в определении части ренты, подлежащей изъятию у арендаторов, ведущих свою деятельность в лучших условиях, связанных с объективными природными особенностями (большим количеством осадков, более плодородная почва и т. д.) [6, 7].

В этой связи возможны несколько путей решения. Так, в случае если собственник земли берет на себя обязательства, направленные на интенсификацию землепользования, то очевидным фактом будет являться передача дифференциальной ренты второго порядка также арендодателю, хотя с учетом технологических особенностей аграрного производства данный подход не получил широкого распространения.

Наиболее интересным подходом по формированию суммы арендной платы является полное изъятие у арендаторов дифференциальной ренты первого порядка, а часть дифференциальной ренты второго порядка, как результат дополнительных вложений в интенсификацию производства, должна оставаться в распоряжении арендатора. В то же время арендаторам следует оставлять дополнительный доход, который они получают благодаря лучшей организации производства (организационно-хозяйственный доход), поскольку он зависит от их собственных усилий, его перераспределение ущемляет их закон-

ные экономические интересы. В арендную плату также должна быть включена и абсолютная рента (часть прибавочной стоимости, созданная арендатором и присваиваемая землевладельцем в силу монополии частной собственности на землю). Следовательно, при расчете арендной платы в условиях рентного подхода целесообразным будет использование кадастровой стоимости земли, так как она в большей степени включает в себя все объективные преимущества земельного участка, обусловленные его природной характеристикой.

Для определения арендной платы также можно использовать подход, основанный на признании земли «капиталом», что соответствует двухфакторной производственной функции (труд, капитал). Исходя из того, что собственник осуществляет вклад в процесс производства земельной долей, предполагается, что должна быть обеспечена доходность, равнозначная вложениям в банковскую систему [8]. В этой связи в основу расчетов может быть положен мониторинг максимальной процентной ставки (по вкладам в российских рублях) десяти кредитных организаций, привлекающих наибольший объём депозитов физических лиц, или в качестве ориентира может быть взята средняя ключевая ставка Центрального банка России за расчетный период. В случае использования средней ключевой ставки чаще всего величина арендной платы будет выше, чем при использовании процентных ставок по вкладам крупных банков. В свою очередь, в качестве величины предполагаемого вклада может использоваться рыночная стоимость земельного участка, а в случае невозможности ее определения – кадастровая.

Ещё один способ обоснования суммы арендной платы предполагает равнозначность факторов производства (труд, земля, капитал) в получении хозяйственного дохода (выручки) при использовании земли. Суть данного подхода заключается в денежной оценке потребленных ресурсов, где «амортизация» земли отражает затраты на восстановление частично утрачиваемого почвенного плодородия в процессе производства продукции. Для условий данного исследования «амортизация» ассоциируется исключительно с восстановлением почвенного плодородия и не имеет буквального толкования, так как это будет противоречить как здравому смыслу, так и нормативным актам, регулирующим начисление амортизации на основные средства. Норма «амортизации» земли устанавливается исходя из срока её капитализации. Окупаемость затрат капитала в сельском хозяйстве чаще всего принимают за период 33 года, следовательно, норма амортизации будет составлять 3,3 % [9, 10]. Исчисление арендной платы по данному подходу дает возможность установить часть выручки, которая должна быть выплачена собственникам в виде арендных платежей.

В отличие от других сфер экономической деятельности, где земля выступает местом возведения производственных, складских и других помещений, в сельском хозяйстве она является основным средством и сферой приложения труда. Ограниченность и незаменимость земли как ресурса, её способность повышать плодородие при рациональном использовании определяют в сельском хозяйстве особые условия воспроизводства, где экономические законы общественного развития переплетаются с биологическими законами развития живых организмов. Тем не менее, в силу деструктивного и крайне потребительского поведения отдельных сельскохозяйственных производителей, обусловленного отказом от использования научно обоснованного севооборота и рационального землепользования, происходит истощение почвенного плодородия. В этой связи имеет смысл рассмотреть еще один способ определения величины арендной платы, который основывается на утверждении, что её сумма должна покрывать расходы на восстановление плодородия земли.

Данный подход основан на том, что каждый год вместе с урожаем выносится определенное количество питательных веществ, и арендная плата должна в полной мере компенсировать эти расходы. Величина выноса питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур на 1 ц колеблется в зависимости от вида возделываемой продукции, а также от физико-химических особенностей конкретного земельного участка. Так, например, вынос на 1 ц зерна яровой пшеницы изменяется для P_2O_5 в пределах 1,3 кг, для K_2O – около 2,5 кг, и для азота – 3,0 кг.

Одним из существенных недостатков данного подхода является отсутствие учета естественного восстановления почвенного плодородия, и в процессе расчета используются только затраты, связанные с компенсацией стоимости выноса макроэлементов (азота, фосфора и калия), в то время как стоимость микроэлементов не учитывалась.

Проведенный анализ существующих подходов по обоснованию величины арендной платы за землю сельскохозяйственного назначения подтверждает наличие узких мест в каждом из них. В этой связи имеет смысл проводить расчет по каждому из них, а в дальнейшем определять среднюю медианную величину, которая и будет являться ориентиром величины арендной платы.

Также важно признать, что все используемые подходы установления арендной платы в той или иной степени основываются на результатах, которые получают агропроизводители от использования земли. В то же время агротехнологические мероприятия и условия севооборота диктуют необходимость использования пара [11], не приносящего сельскохозяйственным организациям дохода, а наоборот, сопряженного с дополнительными затратами, а следовательно, полученный результат величины арендной платы должен быть уменьшен пропорционально площади пара в структуре посевов.

К тому же при установлении величины арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения имеет смысл учитывать длительность действия арендного договора и, в силу использования рационального севооборота при чередовании посевов сельскохозяйственных культур, невозможность арендатора вести производство какого-то одного вида сельскохозяйственной продукции (например, только масличных культур). Основываясь на результатах анализа структуры посевов отдельных муниципальных районов Волгоградской области (Урюпинский, Новониколаевский, Алексеевский), в обязательном порядке будет происходить чередование производства зерновых и зернобобовых, масличных культур; также допустимо внедрение в севооборот прочих сельскохозяйственных культур (не имеющих точного определения в закрытом перечне видов деятельности арендатора земельного участка из категории земель сельскохозяйственного назначения) [12]. В этой связи величина арендной платы по тем видам сельскохозяйственной продукции, которые подвергаются чередованию в угоду рациональному севообороту, должна быть одинаковой.

Особое внимание нужно уделить направлению, связанному с выращиванием кормовых культур, заготовкой растительных кормов и пастьбой скота, несмотря на то, что в структуре землепользования Волгоградской области они имеют достаточно скромный удельный вес. В первую очередь необходимо определиться, что выращивание кормов направлено на получение высоких и устойчивых урожаев кормовых культур, заготовку сена, сенажа, силоса и других кормов. Для этого используют полевое кормопроизводство, которое подразумевает возделывание однолетних и некоторых многолетних кормовых культур на пашне (кукуруза, сорго, суданка, люцерна и т. д.). Также существует луговое кормопроизводство, которое ассоциируется с выращиванием многолетних трав как на естественных, так и на искусственных пастбищах и сенокосах. В то время как пастьба скота предполагает использование зелёных кормов, которые содержат достаточный уровень питательных веществ, необходимых животному. Тем не менее на выпасе не удастся получить высокий надой, очень сложно обеспечить ветеринарно-санитарные нормы; к тому же кормление животных не будет таким сбалансированным, как на специально оборудованной ферме. Также к этому прилагаются дополнительные затраты на дойку и возникают дополнительные потери молока.

Следовательно, выращивание кормовых культур может быть сопряжено как с коммерческой деятельностью, направленной непосредственно на реализацию кормов прочим организациям или населению, так и с производством продукции животноводства собственного производства. Значит, и уровень арендной платы за земли, на которых происходит выращивание кормовых культур, заготовка растительных кормов и пастьба скота, должен учитывать не только результаты от коммерческой деятельности, связанной с реализацией непосредственно кормов, но также и доходность скотоводства. Нужно признать, что скотоводство, особенно средне- и мелкотоварное, в условиях большинства муниципальных районов Волгоградской области является глубоко убыточным видом деятельности. В то же время реализация кормов способна приносить организациям доход. В связи с чем возникает потребность соотнесения масштабов реализации кормов и скотоводства как на уровне предприятия, так и региона, перераспределяя величину прибыли по производственной вертикали или концентрируя ее в одном хозяйствующем субъекте, обладающем достаточной кормовой базой для развития скотоводства.

В свою очередь производство мяса и молока имеет стратегически важное значение, потому что обеспечивает продовольственную и экономическую безопасность не только отдельных регионов, но и всего государства в целом. Данные продукты питания формируют

основу потребительской корзины населения, и от их качества и объёма потребления зависят продолжительность жизни и здоровье нации. Кроме того, скотоводство располагает значительными резервами увеличения поставок продукции на внутренний рынок и расширения экспортного потенциала.

Следовательно, для условий возделывания кормовых культур, на фоне погодных рисков [13], целесообразным будет отказаться от ориентира, полученного расчетным путем с использованием всех описанных ранее подходов к определению суммы арендной платы, так как они учитывают только лишь направление, связанное с реализацией кормов, и не принимают во внимание результативность конечной цели – производство и реализацию продукции скотоводства. В то же время, Волгоградская область динамично развивается, и создание самостоятельных юридических лиц, представляющих собой отдельные кормовые базы для существующих или вновь созданных животноводческих ферм, будет являться перспективным направлением. К тому же важно соблюдать баланс между государственной поддержкой и наличием стимулов к повышению эффективности хозяйственной деятельности у самих организаций, занимающихся производством кормов и животноводческой продукции.

Заключение. Таким образом, при установлении арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения важно учитывать:

- длительность срока аренды земли;
- необходимость использования рационального севооборота и сложившуюся структуру посевов в отдельном муниципальном районе или регионе;
- риски снижения урожайности из-за погодных условий;
- важность поддержки убыточного скотоводства и баланса между государственной поддержкой и наличием стимулов к повышению эффективности хозяйственной деятельности у самих организаций, занимающихся производством кормов и животноводческой продукции.

Conclusion. Thus, when setting the rent for agricultural land, it is important to take into account the following factors:

- the long-term lease of land;
- the need to use a rational crop rotation system and the existing crop structure in a particular municipal district or region;
- the risks of reduced crop yields due to weather conditions;
- the importance of supporting unprofitable livestock farming and striking a balance between government support and incentives for improving the efficiency of organizations involved in the production of feed and livestock products.

Библиографический список

1. Петров Н. Ю., Зверева Г. Н., Подлегаева А. Г. Анализ современных тенденций и перспективы развития земельного фонда Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2026. № 2 (86). С. 75-84.
2. Гайнутдинов И. Г., Мухаметгалиев Ф. Н., Авхадиев Ф. Н. Вопросы совершенствования оборота земельных участков из состава земель сельскохозяйственного назначения. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 105-110.
3. Нечаев В. И., Барсукова Г. Н., Сайфетдинова Н. Р. Определение основных параметров рынка земельных участков сельскохозяйственного назначения по областям центрального экономического района. Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 1. С. 65-72.
4. Сагайдак А. Э., Сагайдак А. А. Кооперация и совершенствование платы за землю в сельском хозяйстве. Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2020. № 2. С. 35-43.
5. Калинина И. А. Договор ренты и аренды земельного участка в контексте цены договора и земельной ренты. Аграрное и земельное право. 2021. № 9 (201). С. 74-77.
6. Сагайдак А. Э., Сагайдак А. А. Земельная рента и совершенствование налогообложения земли в сельском хозяйстве. Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 114-117.
7. Полунин Г. А. Дифференциальная земельная рента в сельском хозяйстве России. АПК: экономика, управление. 2024. № 10. С. 36-43.
8. Улезько А. В., Демидов П. В. оптимизация использования продуктивных земель сельского хозяйства. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1 (60). С. 207-217.
9. Заворотин Е. Ф., Тюрина Н. С., Гордополова А. А. Типологизация управляющего воздействия обратной связи в подсистемах управления земельными ресурсами в сельском хозяйстве. Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 4. С. 85-93.
10. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Земля и сельское хозяйство Дальнего Востока. Жизнь Земли. 2022. Т. 44. № 2. С. 192-201.
11. Хлыстун В. Н., Алакоз В. В. О стратегии рационального использования сельскохозяйственных земель и особенностях ее реализации в регионах России. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024. Т. 19. № 5 (232). С. 266-275.
12. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю., Саушкина Н. В. Анализ состояния и использования земельного фонда Волгоградской области. Естественные и технические науки. 2019. № 12 (138). С. 197-200.
13. Дубровский А. В. Анализ угроз и рисков в сфере землепользования: ключевые аспекты и стратегия устранения негативных последствий. Интерэкспо Гео-Сибирь. 2024. Т. 3. С. 18-26.

References

1. Petrov N. Yu., Zvereva G. N., Podlegaeva A. G. Analysis of Current Trends and Prospects for the Development of the Land Fund in the Volgograd Region. Proceedings of the NV AUC. 2026. No 2 (86). Pp. 75-84.
2. Gainutdinov I. G., Mukhametgaliev F. N., Avkhadiev F. N. Issues of Improving the Circulation of Land Plots from the Composition of Agricultural Land. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2020. V. 15. No 1 (57). Pp. 105-110.
3. Nechaev V. I., Barsukova G. N., Saifetdinova N. R. Determination of the Main Parameters of the Market for Agricultural Land in the Regions of the Central Economic Region. The Economy of Agriculture in Russia. 2020. No 1. Pp. 65-72.
4. Sagaidak A. E., Sagaidak A. A. Cooperation and Improvement of Land Fees in Agriculture. Fundamental and Applied Research in the Cooperative Sector of the Economy. 2020. No 2. Pp. 35-43.
5. Kalinina I. A. The Rent and Lease Agreement of a Land Plot in the Context of the Price of the Agreement and Land Rent. Agrarian and Land Law. 2021. No 9 (201). Pp. 74-77.
6. Sagaidak A. E., Sagaidak A. A. Land Rent and Improvement of Land Taxation in Agriculture. Innovations and Investments. 2020. No 7. Pp. 114-117.
7. Polunin G. A. Differential Land Rent in Russian Agriculture. AIC: Economics, Management. 2024. No 10. Pp. 36-43.
8. Ulezko A. V., Demidov P. V. Optimization of the Use of Productive Agricultural Lands. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. V. 12. No 1 (60). Pp. 207-217.
9. Zavorotin E. F., Tyurina N. S., Gordopolova A. A. Typologization of the feedback control effect in the subsystems of land resources management in agriculture. Russian Agricultural Economics. 2025. No 4. Pp. 85-93.
10. Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Land and Agriculture in the Russian Far East. Life of the Earth. 2022. V. 44. No 2. Pp. 192-201.
11. Khlystun V. N., Alakoz V. V. On the strategy of rational use of agricultural lands and the features of its implementation in the regions of Russia. Land Management, Cadastre and Land Monitoring. 2024. V. 19. No 5 (232). Pp. 266-275.
12. Akhmedov A. D., Galiullina E. Yu., Saushkina N. V. Analysis of the state and use of the land fund of the Volgograd region. Natural and technical sciences. 2019. No 12 (138). Pp. 197-200.
13. Dubrovsky A. V. Analysis of Threats and Risks in the Field of Land Use: Key Aspects and Strategy for Eliminating Negative Consequences. Interexpo Geo-Siberia. 2024. V. 3. Pp. 18-26.

Информация об авторах

Балашова Наталья Николаевна, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ(Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: balashova_nat@mail.ru

Немченко Александр Владимирович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: volgsnemchenko@mail.ru

Authors' Information

Balashova Natalia Nikolaevna, Doctor of Economics, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: balashova_nat@mail.ru

Nemchenko Aleksandr Vladimirovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: volgsnemchenko@mail.ru

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

THE FUNGICIDES EFFECTIVENESS ANALYSIS IN THE CONTROL OF THE LATE BLIGHT (PHYTOPHTHORA) IN THE POTATO CULTIVATION

Bondarenko A. N., Petrov E. N., Tyutyuma A. V.

Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoye Zaimishche, Astrakhan Region, Russian Federation

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

Received 20.01.2026 Submitted 26.03.2026

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

Summary

The results of growing potatoes on the soil of light chestnut by drip irrigation are presented. Promising options have been identified that contribute to the formation of high yields of the studied crop.

Abstract

Introduction. Recently, agricultural producers have an important and primary task – to identify the most effective ways to combat blight on potato plantations. Within the framework of this scientific study, the biological effectiveness of fungicides in preventing the development and spread of late blight (Phytophthora) in growing potatoes in the Astrakhan region using drip irrigation was studied. To do this, a field experiment was organized on different varieties of potatoes using the method of split plots. **Materials and methods.** A study conducted in 2023-2025. at the irrigated land use area of the Federal State Budgetary Scientific Institution "PAFNTs RAS," was devoted to assessing the biological effectiveness of fungicides: Reus, SP; In-

sight, SC; Ordan pro, SP vs. late blight. **Object.** Experiments were carried out on potatoes of the Veneta and Azhur varieties cultivated in open ground. **Research results** have shown that the use of drugs used significantly reduces the degree of development and spread of this disease. This was especially pronounced when treating Azhur potatoes with the fungicide Ordan Profi, SP. After the first treatment with the drug, biological efficacy reached 95.0 %. After the second application, the efficacy of Ordan Profi JV increased to a maximum of 100 %. These data confirm that the protective properties of the fungicide Ordan Profi, SP against late blight remained stable until the potato harvest. Azhur potatoes showed high indicators, both in biological and commercial yields when using Ordan Profi, SP in combination with the main method of tillage using the ROPA tillage unit (depth 0.40-0.45 m). Biological yield was 77.8 t/ha, commodity – 60.8 t/ha with a marketability of 74.0 %, which ensured the maximum level of profitability – 375.0 %.

***Keywords*:** *potato cultivation technologies, potato varieties, fungicide effectiveness, potato diseases, commercial potato yields.*

Citation. Bondarenko A. N., Petrov E. N., Tyutyuma A. V. The fungicides effectiveness analysis in the control of the late blight (Phytophthora) in the potato cultivation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 43-52 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-04.
Authors' contributions. Each of the authors of the scientific study made a direct contribution to the planning and implementation of the field experiment, as well as to the subsequent analysis of the results.
Conflict of interest. he authors of this publication officially declare no conflict of interest associated with the presented study.

УДК 632.952:635.21

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНГИЦИДОВ В БОРЬБЕ С ФИТОФТОРОЗОМ (PHYTOPHTHORA) ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ

Бондаренко А. Н., *доктор сельскохозяйственных наук*
Петров Е. Н., *младший научный сотрудник*
Тютюма А. В., *младший научный сотрудник*

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН»,
с. Соленое Займище, Черноярский район, Астраханская область, Российская Федерация

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

Введение. В последнее время перед сельхозпроизводителями стоит важная и первоочередная задача – выявить самые эффективные способы борьбы с фитофторозом на картофельных посадках. В рамках данного научного исследования было проведено изучение биологической эффективности фунгицидов в предотвращении развития и распространения фитофтороза (Phytophthora) при выращивании картофеля в условиях Астраханской области с использованием капельного орошения. Для этого был организован полевой эксперимент на разных сортах картофеля с применением метода расщеплённых делянок. **Материалы и методы.** Исследование, проведенное в 2023-2025 гг. на орошаемом участке землепользования ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», было посвящено оценке биологической эффективности фунгицидов: Ревус, СП; Инсайт, СК; Ордан профи, СП против фитофтороза. **Объект.** Эксперименты проводились на картофеле сортов Венета и Ажур, возделываемых в открытом грунте. **Результаты исследований** показали, что использование применяемых препаратов существенно уменьшает степень развития и распространения данного заболевания. Особенно выраженно это проявилось при обработке картофеля сорта Ажур фунгицидом Ордан Профи, СП. После первой обработки препаратом биологическая эффективность достигла 95,0 %. После второго применения эффективность препарата Ордан Профи, СП возросла до максимальных 100 %. Эти данные подтверждают, что защитные свойства фунгицида Ордан Профи, СП против фитофтороза сохранялись стабильными вплоть до сбора урожая картофеля. Картофель сорта Ажур показал высокие показатели, как по биологической, так и по товарной урожайности при использовании Ордан Профи, СП в сочетании с основным способом обработки почвы с применением почвообрабатывающего агрегата РОПА (глубина 0,40-0,45 м). Биологическая урожайность составила 77,8 т/га, товарная – 60,8 т/га при товарности 74,0 %, что обеспечило максимальный уровень рентабельности – 375,0 %.

Ключевые слова: *технологии возделывания картофеля, сорта картофеля, эффективность фунгицидов, болезни картофеля, товарная урожайность картофеля.*

Цитирование. Бондаренко А. Н., Петров Е. Н., Тютюма А. В. Анализ эффективности применения фунгицидов в борьбе с фитофторозом (Phytophthora) при возделывании картофеля. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 43-52. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-04.

Авторский вклад. Каждый из авторов научного исследования внёс прямой вклад в планирование и реализацию полевого эксперимента, а также в последующий анализ полученных результатов.
Конфликт интересов. Авторы данной публикации официально заявляют об отсутствие конфликта интересов, связанного с представленным исследованием.

Введение. По всему миру, картофель признан как одна из самых универсальных и широко распространенных сельскохозяйственных культур [5, 13, 14].

Для успешного сельскохозяйственного производства в Нижневолжском регионе, характеризующемся засушливым летним периодом и выраженными температурными колебаниями, критически важно внедрение инновационных ресурсосберегающих систем орошения.

Кроме того, необходимо применять удобрения, адаптированные к специфике почвенного покрова, и оптимизировать методы основной обработки почвы [1].

Несмотря на внедрение передовых агротехнологий, борьба с болезнями и вредителями остаётся ключевой задачей для обеспечения высокой урожайности картофеля [3, 11, 12].

Угроза для урожая настолько велика, что потери могут достигать катастрофических двух третей своего объема, а порой и более. Причина столь масштабных убытков кроется не в одном факторе, а в сложной комбинации взаимозависимых обстоятельств [7, 8, 15].

Для обеспечения высокой урожайности и отличного товарного вида картофеля, перспективным решением является применение фунгицидов [2, 6, 10]. Эти препараты эффективно борются с болезнями, минимизируя их негативное воздействие на растения и, как следствие, на качество и количество урожая.

Так, в период 2016-2017 годов в равнинной орошаемой зоне Дагестана было проведено исследование, посвященное изучению эффективности фунгицидов нового поколения, в частности Ридомил Голд МЦ, и их комбинаций на развитие фитофтороза и альтернариоза. Основной задачей работы являлась оценка влияния данных препаратов и их баковых смесей на урожайность и товарные качества клубней районированных сортов картофеля: Волжанин, Невский и Импала. Наиболее высокие показатели урожайности и товарного качества клубней были зафиксированы при использовании баковой смеси использования «Ридомил Голд МЦ», «Дитан Нео Тек 75» и «Ширлан, 50 КС». Совместное применение снижало поражаемость растений картофеля фитофторозом и альтернариозом по сравнению с применением только одного фунгицида [9].

Цель настоящих исследований была направлена на определение степени биологической эффективности фунгицидов в борьбе с фитофторозом *(Phytophthora)* в посадках картофеля при фертигации.

Научная новизна исследований. Впервые в почвенно-климатических условиях Северо-Западного Прикаспия была разработана научно обоснованная ресурсосберегающая технология возделывания различных сортов картофеля, основанная на применении современных агрохимических средств защиты растений.

В рамках научно-исследовательской работы с использованием метода расщепленных делянок был проведен трехфакторный полевой опыт с различными сортами картофеля.

Опыты с **картофелем** предусматривали проведение защитных мероприятий от вредителей (проволочника) и болезней (фитофтороза). Площадь 1 учётной делянки – 50 м^2, площадь под 1 вариантом – 150 м^2. Густота посадки 47,0 тыс. шт./га.

В полевом опыте **фактор А** – сорта среднеспелого картофеля: Венета, Ажур. **Фактор В** – фунгициды: Ревус, СП; Инсайт [4], СК; Ордан профи, СП. **Фактор С** – способы основной обработки почвы (ПЛН-4-35 глубина 23 см; РОПА (h=0,40-0,45 м).

Варианты опыта:

Вариант 1 – Контроль (обработка водой).

Вариант 2 – Ревус, СП – опрыскивание в период вегетации: первое – профилактическое, последующие – с интервалом 7-14 дней. Норма расхода препарата 6 мл/5 л воды. Норма расхода рабочей жидкости 5 л/100 м^2.

Вариант 3 – Инсайт, СК – опрыскивание в период вегетации: первое – в фазе смыкания рядков, последующие – с интервалом 7-10 дней. Норма расхода препарата 8-10 мл/3 л воды, норма расхода рабочей жидкости 3 л/100 м^2.

Вариант 4 – Ордан профи, СП – опрыскивание в период вегетации: первое профилактическое до смыкания ботвы в рядках или не позднее 2 суток после инфицирования растений, последующие – с интервалом 7-14 дней. Норма расхода препарата 25 г/5 л воды. Расход рабочей жидкости 5 л/100 м^2.

Объект исследований:

Винета – раннеспелый сорт столового назначения. Клубень овально-округлый. Кожура желтая. Мякоть светло-желтая. Масса товарного клубня 67-95 г. Регион допуска Северо-Кавказский, Средневолжский.

Ажур – среднеранний столовый сорт с красивыми овальными клубнями товарного вида, хорошо хранится. Период созревания 70-80 дней. Регион допуска – Центральный.

Материалы исследований. Для выполнения поставленных задач проводились полевые учеты, наблюдения и измерения с использованием: Методики опытного дела в растениеводстве Литвинова С. С.[2]; Методики Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2015 г.)[3]; Методического руководства по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве (2016 г.)[4]; Методических указаний по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве, 2022 г.[5]; Методических указаний по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности[6]; Методических указаний по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве[7].

Результаты исследований. Агрохимический анализ пахотного горизонта светло-каштановой солонцеватой почвы, отобранной с опытного участка, позволил установить ряд параметров, оказывающих существенное влияние на продуктивность картофеля.

В частности, было отмечено низкое содержание органического вещества (гумуса) на уровне 0,6 % и нейтральное значение pH (7,05). При этом, несмотря на высокие концентрации подвижных форм фосфора (241,0 мг/кг) и калия (257,8 мг/кг), дефицит гумуса может выступать лимитирующим фактором для их эффективного поглощения растениями, тем самым снижая общую эффективность минерального питания.

Фенологические наблюдения проводились на 10 закрепленных учетных растениях каждого сорта. Влияние исследуемого препарата на рост и развитие растений картофеля оценивалось по следующим параметрам: средний размер клубня; масса клубня; фракции; урожайность, товарность, %.

Учеты по фунгицидам:

1. учет до опрыскивания;
2. учет – 14 сутки после обработки.

Определение биологической эффективности по формуле:

$$Э\% = (К - О) / К * 100$$

где Э% – биологическая эффективность, показывает на сколько процентов данный препарат снижает распространение или развитие болезни по сравнению с контролем; К – развитие (пораженность) болезни в контроле; О – развитие (пораженность) болезни в исследуемом варианте после обработки.

Это формула Аббота, которая включает влияние и других факторов, снижающих болезнь в контроле.

В случае невозможности проведения учетов в контроле можно использовать следующую формулу:

$$Э\% = (А – Б /А) * 100$$

где Э – биологическая эффективность; А – учет до обработки; Б – учет после обработки.

---

[2] Литвинов С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве. – М.: ВНИИ овощеводства. 2011. – 648 с.

[3] Методика Государственного сортоиспытания сельско-хозяйственных культур. Выпуск четвертый картофель, овощные и бахчевые культуры. – М.: «Министерство сельского хозяйства РФ». 2015. – 61 с.

[4] Методическое руководство по проведению регистрационных испытаний регуляторов роста растений, дефолиантов и десикантов в сельском хозяйстве: производственно-практическое (авторы: Сычев В. Г., Шаповал О. А., Можарова И. П., Веревкина Т. М., Мухина М. Т., Коршунов А. А., Лазарева А. С., Грабовская Т. Ю., Веревкин Е. Л). Издание – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 216 с.

[5] Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве / В. И. Долженко [и др.]; под ред. В. И. Долженко; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – Москва: Росинформагротех, 2022. – 504 с.: табл. – ISBN 978-5-7367-1737-8.

[6] Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общая часть (утв. Научно-техническим советом Минсельхоза России, протокол от 08.05.2024 № 12) 2024 г. – 63 с.

[7] Методические указания по проведению регистрационных испытаний агрохимикатов в сельском хозяйстве: производ.-практ. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. – 308 с.

Для патогенов, быстро наращивающих инфекцию, применяют формулу Хендерсона-Тилтона, которая учитывает нарастание инфекции на протяжении опыта:

$$Э\% = (1 – Oa / Ob * Ka / Kb) * 100$$

где Э – биологическая эффективность; K_a – развитие (пораженность) болезни в контроле после обработки; K_b – развитие (пораженность) болезни в контроле до обработки; O_a – развитие (пораженность) болезни в исследуемом варианте после обработки; O_b – развитие (пораженность) болезни в исследуемом варианте до обработки.

Экономическая эффективность возделывания изучаемых сортов и гибридов рассчитана согласно технологической карте и методическим рекомендациям [8], [9].

Математическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа по методике Доспехова Б. А. [10].

Результаты исследований и их обсуждение. В период с 2023 по 2025 годы, в среднем за каждый вегетационный сезон, осуществлялось 21 орошение, каждое с нормой 250 м³/га. Анализ водного баланса за весь вегетационный период показал следующие результаты: общее водопотребление составило 5947,0 м³/га (100 %), из которых оросительная норма покрыла 5250,0 м³/га (88,3 %). Доля осадков за вегетацию составила 570,0 м³/га (9,6 %), а водопотребление из почвенных запасов – 127,0 м³/га (2,1 %).

Биологическая эффективность фунгицидов при возделывании картофеля. Первичная оценка развития фитофтороза на картофельных посадках проводилась в межфазный период смыкания рядков – бутонизация. При этом проведенный учёт показал, что в среднем на 30 осмотренных растениях поражено от 1 до 3 растений, со степенью ущерба, оцениваемой в 1-2 балла (до применения средств защиты). Отмечалось незначительное поражение листовой массы, варьирующееся от 2,5 до 5 %.

После первой обработки, эффективность препарата Ревус, СП составляла всего 50,0 %, препарата Инсайт, СК – 75,0 %, в то время как эффективность фунгицида Ордан Профи, СП достигла 95,0 % (таблица 1).

Перед второй обработкой была проведена повторная оценка, которая выявила, что распространение заболевания на варианте с фунгицидом Инсайт, СК было равным 5,6 %. На варианте, где был использован препарат Ревус, СП распространение заболевания составляло 4,4 %, развитие болезни 0,05 %, биологическая эффективность препарата 90,0 %.

На варианте, обработанном фунгицидом Ордан профи, СП распространение болезни было значительно ниже и составляло – 1,1 %, при R = 0,03 %. Биологическая эффективность данного препарата составляла 94 %.

После второго этапа обработки, биологическая эффективность препарата Ордан профи, СП достигла максимальных значений 100 %.

В соответствии с методическими указаниями, перед сбором урожая была проведена заключительная оценка степени поражения растений фитофторозом.

В среднем за годы исследований было установлено, что относительно контрольного варианта биологическая эффективность препарата Инсайт, Ск составляла 93,3 %, препарата Ревус, СП – 96,7 %, Ордан профи, СП – 10 0 %. Эти данные свидетельствуют о том, что защитные свойства фунгицида Ордан профи, СП против фитофтороза оставались стабильными до момента уборки урожая картофеля (таблица 1).

Результаты проведенных исследований по изучению действия различных фунгицидов в борьбе с фитофторозом в посадках картофеля при различных способах обработки почвы подтвердили существенное преимущество варианта с использованием препарата Ордан профи, СП.

По результатам анализа таблицы 2, сорт картофеля Ажур показал высокие результаты как по биологической урожайности, так и по товарной урожайности на варианте Ордан профи, СП при способе основной обработки почвы с применением почвообрабатывающего агрегата РОПА (h=0,40-0,45 м).

---

[8] Шпилько А. В. и др. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Часть 1. Методические указания. – М.: РИЦ ГОСНИТИ. 1998. – 331 с.

[9] Эффективность сельскохозяйственного производства (методические рекомендации) / Под ред. И. С. Санду, В. А. Свободина, В. И. Нечаева, М. В. Косолаповой, В. Ф. Федоренко. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2013. С. 46-50.

[10] Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований // 5 изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.).

Таблица 1 – Учёт степени поражения листьев картофеля фитофторозом (*Phytophthora*) в посадках картофеля при основной обработке почвы рабочим органом РОПА (h=0,40-0,45 м) (на примере сорта Ажур), среднее за 2023-2025 гг.

Table 1 – Taking into account the degree of damage to potato leaves by late blight (Phytophthora) in potato plantings during the main soil treatment by the ROPA working body (h = 0.40-0.45 m) (using the Azhur variety as an example), the average for 2023...2025

Варианты опыта / Experimental options	Всего учтено (N) / Total counted for (N)	Из них поражено / Affected by the disease		Распространенность болезни (P), % / Prevalence diseases (P), %	Сумма произведений числа больных растений на соответствующий им балл поражения Σ (a x b) / Sum of works number of patients plants on the appropriate Σ lesion score (a x b)	Развитие болезни (R), % / Development diseases (R), %	БЭ,% / BE,%
		в баллах / in points	итого раст. (n) / total (n)				
до 1 обработки / up to the first treatment							
Контроль / Control	30	2,0	3,0	10,0	6	0,2	-
Ревус, СП / Revus, JV	30	1,3	2,0	6,7	2,7	0,1	-
Инсайт, СК / Incyte, SC	30	1,7	2,3	7,6	3,9	0,1	-
Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	30	1,7	1,3	4,4	2,3	0,07	-
после обработки / after treatments							
Контроль / Control	30	2,3	4,7	15,3	10,3	0,4	-
Ревус, СП / Revus, JV	30	2,0	2,3	7,8	4,7	0,2	50,0
Инсайт, СК / Incyte, SC	30	2,0	2,0	6,6	4,0	0,1	75,0
Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	30	1,0	0,7	2,2	0,7	0,02	95,0
до 2 обработки / up to the second treatments							
Контроль / Control	30	2,7	5,3	17,6	14,3	0,5	-
Ревус, СП / Revus, JV	30	1,0	1,0	4,4	2,0	0,05	90,0
Инсайт, СК / Incyte, SC	30	1,3	1,7	5,6		0,07	86,0
Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	30	1,0	0,3	1,1	0,3	0,03	94,0
после обработки / after treatments							
Контроль / Control	30	3,0	7,0	23,3	19,7	0,7	-
Ревус, СП / Revus, JV	30	0,7	0,7	2,2	0,7	0,02	97,1
Инсайт, СК / Incyte, SC	30	0,5	0,5	1,7	0,3	0,01	98,6
Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	30	0	0	0	0	0	100
перед уборкой / before harvesting							
Контроль / Control	30	7,0	13,0	54,4	108,7	3,0	-
Ревус, СП / Revus, JV	30	2,0	2,3	7,8	4,7	0,10	96,7
Инсайт, СК / Incyte, SC	30	0,7	1,0	3,3	0,7	0,2	93,3
Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	30	1,0	0,3	1,0	0,3	0,01	100

Таблица 2 – Элементы структуры урожая сортов картофеля в зависимости от вариантов обработки, средне за 2023-2025 гг.
Table 2 – Crop Pattern Elements of Potato Varieties by Processing Option, Average for 2023...2025

Сорт (**Фактор А**) / Variety (**Factor A**)	Способ основной обработки почвы (**фактор В**) / Basic tillage method (**factor B**)	Фунгицид (**фактор С**) / Fungicide (**factor C**)	Показатели / Indicators												
			Высота растений, см / Plant height, cm	Кол-во клубней, шт. / Number of tubers, pcs.			Масса клубней, г / Mass of tubers, g			Общая масса клубней с 1 растения, г / Total mass of tubers from 1 plant, g	Средн. масса клубня с 1 растения, г / Avg. tuber weight with 1 plant, g	Биологическая урожайность, т/га / biological yield, t/ha	Товарная урожайность, т/га / Commodity yield, t/ha	Товарность, % / Marketability, %	Прибавка (биологическая) ± к контролю, т/га / Increase (biological) ± to control, t/ha
				Крупные / Large	Средние / medium-size	Мелкие / small	Крупные / Large	Средние / medium-size	Мелкие / small						
Винета / Vineta	Отвальная вспашка (ПЛН-4-35), h=0,20-0,22 м / Deep ploughing (PLN-4-35), h=0.20-0.22 m	Контроль / control	72,8	-	4,0	5,0	-	368,3	351,1	719,0	79,9	33,8	27,2	51,2	-
		Ревус, СП / Revus, JV	77,1	3,0	4,0	5,0	387,5	392,7	358,3	1138,5	94,9	53,5	37,6	70,0	19,7
		Инсайт, СК / Incyte, SC	77,0	2,0	5,0	7,0	330,1	491,1	365,0	1186,2	84,7	55,8	38,6	70,0	22,0
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	76,8	3,0	5,0	7,0	438,3	646,8	380,6	1465,7	97,7	68,9	51,0	74,0	35,1
	Рабочий орган РОПА, h=0,40-0,45 м / The working body of the tillage unit, h=0.40-0.45 m	Контроль / Control	70,7	-	4,0	7,0	-	397,6	455,0	852,6	77,5	40,1	23,4	46,6	-
		Ревус, СП / Revus, JV	85,9	4,0	3,0	5,0	594,5	276,0	348,8	1219,3	101,6	57,3	42,5	71,4	17,2
		Инсайт, СК / Incyte, SC	86,3	4,0	4,0	4,0	604,3	354,0	271,1	1229,4	102,5	57,8	45,0	78,0	17,7
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	86,2	4,0	5,0	4,0	510,2	494,5	261,8	1266,5	97,4	59,5	48,0	80,0	19,4
Ажур / Azhur	Отвальная вспашка (ПЛН-4-35), h=0,20-0,22 м / Deep ploughing (PLN-4-35), h=0.20-0.22 m	Контроль / Control	98,4	2,0	3,0	6,0	185,7	287,8	390,0	863,5	78,5	40,6	22,3	55,0	-
		Ревус, СП / Revus, JV	107,6	2,0	5,0	7,0	357,4	484,7	386,3	1228,4	87,7	57,7	39,6	70,0	17,1
		Инсайт, СК / Incyte, SC	118,3	4,0	4,0	4,0	587,2	362,6	298,7	1248,5	104,0	58,7	44,6	76,1	18,1
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	119,1	4,0	4,0	5,0	544,4	416,2	348,9	1309,5	100,7	61,5	45,1	73,4	20,9
	Рабочий орган РОПА, h=0,40-0,45 м / The working body of the tillage unit, h=0.40-0.45 m	Контроль / Control	96,4	1,0	5,0	6,0	131,7	490,3	436,6	1058,6	88,2	49,8	38,9	60,0	-
		Ревус, СП / Revus, JV	117,6	4,0	5,0	6,0	588,7	502,1	509,2	1600,0	106,7	75,2	52,3	68,2	25,4
		Инсайт, СК / Incyte, SC	113,2	4,0	4,0	6,0	578,5	367,5	386,4	1332,4	95,2	62,6	47,2	71,0	12,8
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	114,1	4,0	5,0	6,0	789,3	404,7	428,1	1622,1	108,1	77,8	60,8	74,0	28,0
(Фактор А / Factor A) $НСР_{05}$												1,6			
(Фактор В / Factor B) $НСР_{05}$												2,3			
(Фактор С / Factor C) $НСР_{05}$												1,5			
(Фактор АВ / Factor AB) $НСР_{05}$												4,3			
(Фактор АС / Factor AC) $НСР_{05}$												6,5			
(Фактор ВС / Factor BC) $НСР_{05}$												5,3			

Таблица 3 – Экономическая эффективность возделывания сортов картофеля с использованием фунгицидов, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», среднее за 2023-2025 гг.
Table 3 – Economic efficiency of cultivating potato varieties using fungicides, Federal State Budgetary Scientific Institution "PAFNC RAS," average for 2023...2025

Сорт **(Фактор А)** / Variety **(Factor A)**	Способ основной обработки почвы **(фактор В)** / Basic tillage method **(factor B)**	Фунгицид **(фактор С)** / Fungicide **(factor C)**	Товарная урожайность, т/га / Commodity yield, t/ha	Общие затраты, тыс. руб./га / Total costs, thousand rubles/ha	Себестоимость, тыс. р./т / Cost price, thousand rubles/ton	Стоимость реализованной продукции, тыс. руб./т / Cost of goods sold, thousand rubles/ton	Чистый доход, тыс. руб./га / Net income, thousand rubles/ha	Рентабельность, % / Profitability, %
Винета / Vineta	Отвальная вспашка (ПЛН-4-35), h=0,20-0,22 м / Deep ploughing (PLN-4-35), h=0.20-0.22 m	Контроль / Control	27,2	348,4	12,8	816,0	467,6	134,2
		Ревус, СП / Revus, JV	37,6	358,8	9,5	1128,0	769,2	214,4
		Инсайт, СК / Incyte, SC	38,6	360,8	9,3	1158,0	797,2	221,0
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	51,0	372,6	7,3	1530,0	1157,4	310,6
	Рабочий орган РОПА, h=0,40-0,45 м / The working body of the tillage unit, h=0.40-0.45 m	Контроль / Control	23,4	344,6	14,7	702,0	357,4	103,7
		Ревус, СП / Revus, JV	42,5	367,7	8,7	1275,0	907,3	246,8
		Инсайт, СК / Incyte, SC	45,0	371,2	8,2	1350,0	978,8	263,7
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	48,0	374,4	7,8	1440,0	1065,6	284,6
Ажур / Azhur	Отвальная вспашка (ПЛН-4-35), h=0,20-0,22 м / Deep ploughing (PLN-4-35), h=0.20-0.22 m	Контроль / Control	22,3	343,7	15,4	669,0	325,3	94,6
		Ревус, СП / Revus, JV	39,6	361,3	9,1	1188,0	826,7	228,8
		Инсайт, СК / Incyte, SC	44,6	369,7	8,3	1338,0	968,3	261,9
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	45,1	371,9	8,2	1353,0	981,1	263,8
	Рабочий орган РОПА, h=0,40-0,45 м / The working body of the tillage unit, h=0.40-0.45 m	Контроль / Control	38,9	360,1	9,3	1167,0	806,9	224,1
		Ревус, СП / Revus, JV	52,3	373,5	7,1	1569,0	1195,5	320,1
		Инсайт, СК / Incyte, SC	47,2	375,0	7,9	1416,0	1041,0	277,6
		Ордан профи, СП / Ordan pro, JV	60,8	384,0	6,3	1824,0	1440,0	375,0

При этом биологическая урожайность была равна 77,8 т/га, товарная урожайность – 60,8 т/га при товарности 74,0 %. Общая масса клубней с 1 растения составляла по данному варианту 1622,1 г, средняя масса клубня 108,1 г.

При сравнении фунгицидов, используемых в эксперименте, где применялся способ обработки почвы РОПА (h=0,40-0,45 м) прибавка относительно контроля у сорта Ажур составляла по препарату Инсайт, СК + 12,8 т/га, по препарату Ревус, КС + 25,4 т/га и по препарату Ордан профи, СП + 28,0 т/га.

У сорта Винета на варианте с основной обработкой почвы РОПА (h=0,40-0,45 м) прибавка относительно контроля составляла по препарату Ревус, КС + 17,2 т/га, по препарату Инсайт, СК + 17,7 т/га и по препарату Ордан профи, СП + 19,4 т/га (таблица 2).

При сравнении расчетов экономической эффективности возделывания различных сортов картофеля, в зависимости от применяемых фунгицидов и способов основной обработки почвы можно отметить, что наибольшая результативность была достигнута при обработке фунгицидом Ордан профи, СП. Чистый доход по сортам находился в диапазоне 1065,6-1440,0 тыс. руб./га.

Наиболее высокие уровни рентабельности 375,0 % обеспечил сорт картофеля Ажур при способе основной обработки почвы с использованием рабочего агрегата РОПА, (h=0,40-0,45м) и применении фунгицида Ордан профи, СП.

Чистый доход высокорентабельного варианта на 633,1 тыс. руб./га был выше контроля без обработки. Себестоимость по данному варианту была самая низкая 6,3 тыс. руб./т при общих затратах на производство 384,0 тыс. руб./га (таблица 3).

Заключение. 1. В ходе научно-исследовательской работы было проведено тестирование ряда фунгицидов, в результате которой было доказано, что вариант с обработками препаратом Ордан профи, СП привел к максимальному снижению степени развития и распространения фитофтороза в посадках картофеля вплоть до уборки урожая.

2. Сорт картофеля Ажур показал высокие результаты, как по биологической урожайности 77,8 т/га, так и по товарной урожайности 74,0 т/га на варианте с использованием фунгицида Ордан профи, СП при способе основной обработки почвы с применением почвообрабатывающего агрегата РОПА (h=0,40-0,45 м). Также данный вариант обеспечил высокий уровень рентабельности 375,0 % при общих затратах на производство 384,0 тыс. руб./га.

Conclusion. 1. During the research work, a number of fungicides were tested, and it was proven that the option with treatments with the preparation Ordan profi, SP led to the maximum reduction in the degree of development and spread of late blight in potato plantations up to harvest.

2. The Azhur potato variety showed high results, both in terms of biological yield of 77.8 t/ha and commercial yield of 74.0 t/ha, in the variant using the fungicide Ordan pro, SP, with the method of basic soil treatment using the ROPA soil-processing unit (h=0.40-0.45 m). This option also provided a high level of profitability of 375.0 % with a total production cost of 384.0 thousand rubles per hectare.

Библиографический список

1. Визирская М. М., Аканова Н. И., Федотова Л. С. Эффективность приемов повышения продуктивности картофеля. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. Т. 64. № 5 (383). С. 111-116.
2. Газданова И. О., Дзедаев Х. Т., Моргоев Т. А. Биологическая защита картофеля в Республике Северная Осетия-Алания. Вестник КрасГАУ. 2022. № 1 (178). С. 76-82.
3. Гериева Ф. Т., Газданова И. О. Эффективность применения перспективных биопрепаратов нового поколения в условиях Северо-Кавказского региона. Аграрный вестник Урала. 2021. № 3 (206). С. 2-9.
4. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2023. 875 с.
5. Деревягина М. К., Белов Г. Л., Васильева С. В., Зейрук В. Н. Влияние различной пестицидной нагрузки на развитие фитофтороза и альтернариоза картофеля в центральном регионе России. Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 18-23.
6. Дзедаев Х. Т., Газданова И. О., Бекмурзов Б. В. Биологическая борьба с фитофторозом картофеля, вызываемым *Phytophthora infestans*. Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23. № 09. С. 2-10.
7. Долженко В. И., Сухорученко Г. И., Буркова Л. А. Совершенствование ассортимента средств борьбы с вредителями растений в XXI веке. Агрохимия. 2021. № 1. С. 31-40.
8. Долженко В. И., Лаптиев А. Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность. Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 71-75.
9. Кудахова М. М., Омарова А. О., Гимбатов А. Ш. Инновационные приемы ресурсосберегающей технологии возделывания картофеля в равнинной зоне Дагестана. Вестник АПК Ставрополья. 2020. № 1 (37). С. 67-70.
10. Молявко А. А., Борисова Н. П., Марухленко А. В., Белоус Н. М., Ториков В. Е. Стимуляторы роста и фунгициды при возделывании и хранении картофеля. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (78). С. 15-19.
11. Kołodziejczyk M., Gwóźdź K. Effect of plant growth regulators on potato tuber yield and quality. Plant, Soil and Environment. 2022. No. 8 (68). Pp. 375-381.
12. Kazakov O. et al. Identification of potato hybrids resistant to late blight using R-gene markers and artificial infection. Vegetable crops of Russia. 2026. No 6. Pp. 146-153.
13. Shahrajabian M. H., Chaski C., Polyzos N., Petropoulos S. A. Biostimulants application: a low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. Biomolecules. 2021. Vol. 11 (5). Article number 698.

14. Solomiichuk Mykhailo, Pikovskyi M. Biological control of Alternaria and late blight of potatoes. Plant and Soil Science. 2025. V. 52. Pp. 52-60.
15. Zarzecka K., Gugała M., Mystkowska I., Sikorska A. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biological stimulants. Plant, Soil and Environment. 2021. No. 67. Pp. 202-207.

References

1. Vizirskaya M. M., Akanova N. I., Fedotova L. S. The Effectiveness of Methods for Increasing Potato Productivity. International Agricultural Journal. 2021. Vol. 64. No 5 (383). Pp. 111-116.
2. Gazdanova I. O., Dzedaev Kh. T., Morgoev T. A. Biological Protection of Potatoes in the Republic of North Ossetia-Alania. Bulletin of KrasSAU. 2022. No 1 (178). Pp. 76-82.
3. Gerieva F. T., Gazdanova I. O. The Effectiveness of Applying Promising New-Generation Biopreparations in the North Caucasus Region. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No 3 (206). Pp. 2-9.
4. State catalog of pesticides and agrochemicals permitted for use in the Russian Federation. Moscow, 2023. 875 p.
5. Derevyagina M. K., Belov G. L., Vasilyeva S. V., Zeiruk V. N. The effect of different pesticide loads on the development of late blight and Alternaria potato diseases in the central region of Russia. Agrarian Scientific Journal. 2022. No 9. Pp. 18-23.
6. Dzedaev Kh. T., Gazdanova I. O., Bekmurzov B. V. Biological Control of Potato Late Blight Caused by Phytophthora infestans. Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. V. 23. No 09. Pp. 2-10.
7. Dolzhenko V. I., Sukhoruchenko G. I., Burkova L. A. Improvement of the range of means of plant pest control in the 21st century. Agricultural chemistry. 2021. No 1. Pp. 31-40.
8. Dolzhenko V. I., Laptev A. B. Modern assortment of plant protection products: biological efficiency and safety. Fertility. 2021. No 3 (120). Pp. 71-75.
9. Kudakhova M. M., Omarova A. O., Gimbatov A. Sh. Innovative methods of resource-saving potato cultivation technology in the lowland zone of Dagestan. Bulletin of the AIC of Stavropol. 2020. No 1 (37). Pp. 67-70.
10. Molyavko A. A., Borisova N. P., Marukhlenko A. V., Belous N. M., Torikov V. E. Growth stimulants and fungicides in the cultivation and storage of potatoes. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2020. No 2 (78). Pp. 15-19.
11. Kołodziejczyk M., Gwóźdź K. Effect of plant growth regulators on potato tuber yield and quality. Plant, Soil and Environment. 2022. No 8 (68). Pp. 375-381.
12. Kazakov O. et al. Identification of potato hybrids resistant to late blight using R-gene markers and artificial infection. Vegetable crops of Russia. 2026. No 6. Pp. 146-153.
13. Shahrajabian M. H., Chaski C., Polyzos N., Petropoulos S. A. Biostimulants application: a low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. Biomolecules. 2021. Vol. 11 (5). Article number 698.
14. Solomiichuk Mykhailo, Pikovskyi M. Biological control of Alternaria and late blight of potatoes. Plant and Soil Science. 2025. V. 52. Pp. 52-60.
15. Zarzecka K., Gugała M., Mystkowska I., Sikorska A. Changes in dry weight and starch content in potato under the effect of herbicides and biological stimulants. Plant, Soil and Environment. 2021. No. 67. Pp. 202-207.

Информация об авторах

Бондаренко Анастасия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое займище, кв. Северный, 8), https://orcid.org/0000-0003-4816-5667, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru
Петров Евгений Николаевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое займище, кв. Северный, 8), https://orcid.org/0000-0001-9704-9991, e-mail: Evgenpetrov1977@ mail.ru
Тютюма Андрей Владимирович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое займище, кв. Северный, 8), https://orcid.org/ 0000-0003-0589-8669 e-mail: pniiaz@mail.ru

Authors' Information

Bondarenko Anastasia Nikolaevna, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoe Zaimishche, quarter Severny, 8), https://orcid.org/0000-0003-4816-5667, e-mail: bondarenko-a.n@mail.ru
Petrov Evgeny Nikolaevich, Junior Researcher, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoe Zaimishche, quarter Severny, 8), https://orcid.org/0000-0001-9704-9991, e-mail: Evgenpetrov1977@ mail.ru
Tyutyuma Andrey Vladimirovich, Junior Researcher, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoe Zaimishche, quarter Severny, 8), https://orcid.org/ 0000-0003-0589-8669 e-mail: pniiaz@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-05

THE DEVELOPMENT OF THE INTELLIGENT INFORMATION AND MEASURING SYSTEM INTEGRATED INTO THE UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING AGRICULTURAL FIELDS

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

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

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

Received 30.03.2026 Submitted 21.05.2026

Abstract

Introduction. The article considers the issue of building an architecture of an Intelligent Data Measurement and Adaptive Control System integrated with an Unmanned Aerial Vehicle as a research object. This system combines sensors of various purposes that perform the functions of primary information sources, which

determine the quantitative and qualitative characteristics of the object. Through intelligent sensors, the system scans or measures informative parameters with high accuracy and the principle of a multi-sensor system is proposed here. Thus, sensors of various purposes operate simultaneously and scan all the signs, and the collected information is processed by special algorithms, obtaining accurate results. **Object.** Unmanned aerial vehicles (UAV) are used as the object of study. **Materials and methods.** The accuracy of informative parameters is realized by an individual approach to the measurement procedure of each sensor, the application of special hybrid test algorithms. At the same time, the "deformation" of the individual conversion characteristics of the sensors, their dynamic changes, in short, the parameters of their mathematical models are identified. **Results and conclusions.** Based on the obtained data the system architecture was developed in which integrating information-measuring subsystems and adaptive control mechanisms are combined into a single intelligent system. Furthermore, an adaptive measurement model was formulated that takes into account sensor uncertainty, dynamic calibration, and reliability weighting when constructing a formal model. This model enables system analysis, its scalability, and the potential for further development toward fully autonomous cognitive platforms for multi-sensor UAV.

Keywords: *unmanned aerial vehicles, UAV, multi-sensor systems, territory monitoring, intelligent information systems.*

Citation. Isaev M. M., Akhmedov A. D., Khalilov H. H., Kasymov K. R. The development of the intelligent information and measuring system integrated into the unmanned aerial vehicles for monitoring agricultural fields. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 52-61 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2026-03-05.

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

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

УДК 528.88:631.171:004.8

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, ИНТЕГРИРОВАННОЙ В БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

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

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

Аннотация. В статье рассматривается построение архитектуры интеллектуальной системы измерения данных и адаптивного управления, интегрированной с беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). Система объединяет датчики различного назначения, выполняющие функции первичных источников информации, определяющих количественные и качественные характеристики объекта. С помощью интеллектуальных датчиков система сканирует или измеряет информативные параметры с высокой точностью. Предложен принцип работы многосенсорной системы, где датчики различного назначения работают одновременно, собирая информацию, которая обрабатывается специальными алгоритмами для получения точных результатов. **Объект.** В качестве объекта исследования принимаются беспилотные летательные аппараты (БПЛА). **Материалы и методы.** Точность информативных параметров достигается за счет индивидуального подхода к процедуре измерения каждого датчика и применения специальных гибридных алгоритмов тестирования. Это позволяет выявлять «деформацию» индивидуальных характеристик преобразования датчиков, их динамические изменения и параметры математических моделей. **Результаты и выводы.** По результатам полученных данных разработана системная архитектура, в которой интегрирующие информационно-измерительные подсистемы и адаптивные механизмы управления объединяются в единую интеллектуальную целостность. Кроме того, сформулирована адаптивная модель измерения с учетом неопределенности датчиков, динамической калибровки и взвешивания надежности при построении формальной модели, позволяющей анализировать систему, ее масштабируемость и перспективу дальнейшего развития в сторону полностью автономных когнитивных платформ многосенсорных БПЛА.

Ключевые слова: *беспилотные летательные аппараты, БПЛА, многосенсорные системы, мониторинг территорий, интеллектуальные информационные системы.*

Цитирование. Исаев М. М., Ахмедов А. Д., Халилов Х. Х., Касымов К. Р. Разработка интеллектуальной информационно-измерительной системы, интегрированной в беспилотные летательные аппараты для мониторинга сельскохозяйственных полей. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 52-61 DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-05.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Introduction. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have become a critical technological platform across a wide range of civilian and industrial domains, including precision agriculture, environmental monitoring, infrastructure inspection, disaster response, logistics, and intelligent transportation systems [1-4]. Their increasing operational autonomy, mission complexity, and deployment in dynamically changing environments impose stringent requirements on onboard sensing, information processing, and control architectures [5, 6]. Conventional UAV control systems, primarily based on fixed-parameter control laws and deterministic sensor fusion strategies, are often insufficient to ensure robust performance under uncertainties caused by environmental disturbances, sensor noise, model mismatches, and nonlinear aerodynamic effects [7, 8].

Modern UAV platforms operate as **cyber-physical systems**, where physical dynamics, sensor networks, embedded computation, and communication infrastructures are tightly integrated [9], [10]. In such systems, the quality of decision-making and flight stability is directly dependent on the accuracy, reliability, and adaptability of information-measuring subsystems [11]. Traditional measurement architectures are typically designed as static pipelines – sensor acquisition, signal conditioning, estimation, and control – without closed-loop adaptation of the measurement process itself [12]. This separation between measurement and control significantly limits system intelligence and resilience in uncertain operational conditions [13].

The concept of an **intelligent information-measuring system (IIMS)** introduces a new paradigm in UAV design, where measurement, estimation, learning, and control are treated as a unified adaptive process [14, 15]. In this paradigm, sensors are no longer passive data sources but become active elements of an adaptive feedback structure capable of self-calibration, error compensation, reliability assessment, and information prioritization [16]. Combined with adaptive and learning-based control strategies, such systems enable real-time structural adaptation of both the measurement model and the control law in response to internal system dynamics and external environmental changes [17, 18].

Recent advances in machine learning, adaptive filtering, multi-sensor data fusion, and embedded artificial intelligence have created the technological foundation for implementing such integrated architectures [19-22]. However, most existing research focuses on isolated components – such as adaptive controllers, neural-network-based estimators, or sensor fusion algorithms – without a unified system-level framework that formally integrates **information measurement, intelligent data processing,** and **adaptive control** into a single coherent architecture [23, 24]. This fragmentation limits scalability, explainability, and formal verification of UAV intelligence systems [25].

This article addresses this gap by proposing a **unified intelligent information-measuring and adaptive control system architecture** for unmanned aerial vehicles. The proposed system integrates multi-sensor measurement models, intelligent data fusion, adaptive state estimation, and learning-based control into a closed-loop cognitive structure [26, 27]. The architecture is designed to support self-adaptation, fault tolerance, measurement uncertainty compensation, and dynamic reconfiguration of control strategies in real time. A formal system model is developed, including information flow structures, adaptive feedback loops, and functional decomposition of system modules.

The proposed approach provides a foundation for next-generation UAV systems capable of autonomous perception, self-optimization, and resilient control in uncertain and dynamically changing environments. This work contributes to the theoretical and applied development of intelligent cyber-physical systems and supports the transition from conventional UAV control architectures to fully integrated intelligent autonomous flight systems.

Materials and methods. Recently, considerable attention has been paid to the development and practical application of a new generation of intelligent measurement systems (IMS) and adaptive control systems (ACS) for unmanned aerial vehicles (UAV). Therefore, the design of such devices and systems in the instrument-making industry, including their metrology and information support, is subject to very stringent requirements when upgrading existing devices.

It should be noted that effective remote or local control of complex tasks primarily requires a multi-sensor integrated circuit (IC) structure capable of operating in challenging metrological conditions, even in smooth flight modes. In such systems, all operations are performed automatically in real time. Therefore, we propose an effective approach based primarily on structural-algorithmic methods, enabling the most accurate and reliable measurements and control in UAV systems. Consequently, the key tools for achieving these objectives are a systematic approach to the use of integrated circuits (ICs) and automated measurement systems (AMS). A key aspect in field conditions is achieving high measurement accuracy, which directly depends on the precision of measuring instruments and sensors. However, external factors such as noise, vibration, and electromagnetic interference lead to significant errors, disrupting the metrological properties of sensors, causing constant changes in their characteristics, and distorting the collected data. As we have already noted, solving this problem yields better results and eliminates errors when using structural and algorithmic measurement methods.

It is known that existing devices still do not fully meet customer needs and require constant calibration. However, solving this problem in a hard-to-reach environment is ultimately a very complex and challenging task. For space systems, these systems and their core functions – data collection, processing, and lossless transmission – are underdeveloped. Optimal design of integrated circuits and automated information systems (AIS), experimental studies, adaptive measurement and control planning, optimization, and other problems still require specialized solutions. This article examines these issues and the potential for applying algorithmic and structural methods to improve the accuracy of measurements and conversions using sensor check measurements, monitoring their metrological characteristics, and making adjustments. In recent years, publications and literature reviews have provided an in-depth analysis of existing methods and technical tools, drawing conclusions and substantiating the relevance of using structural-algorithmic methods to improve the accuracy and reliability of existing systems in operational conditions.

To build the architectural topology of an integrated UAV and AIS system, the following key stages must be included in the design:

1. Types and structure of information-measuring systems

Information-measuring technologies are a type of information technology and differ from other technologies in that they are explicitly cognitive in nature and implement specific procedures. These include:

- obtaining initial measurement data through the interaction of primary measurement transmitters (sensors) with the measured object;
- converting measurement data with specified and guaranteed accuracy;
- comparing measurement data signals with the dimensions of generally accepted units of measurement, assessing and presenting the residual uncertainty characteristics of the measured values.

Existing systems do not meet all requirements, and design simplification and modernization are inevitable:

The optimal structure of an IMS is shown in Figure 1.

Modern information-measuring technologies are acquiring additional capabilities through the use of artificial intelligence hardware and software. One of the most important challenges in the development of information-measuring technologies is expanding the range of measured quantities and ensuring measurements under the influence of "harsh" external factors (high temperature, high pressure, ionizing radiation, etc.).

Solving such problems requires a more complex structure of the measuring instruments used – sensors that create multi-sensor measurement systems – and the technical equipment required for their operation. The objects of study are characterized by a large number of parameters, and these parameters often change their values rapidly for various reasons.

Sometimes, it is necessary to conduct complex measurements to obtain information about the object's parameters, and the value of the measured variable is calculated based on known functional relationships between it and the measured quantities.

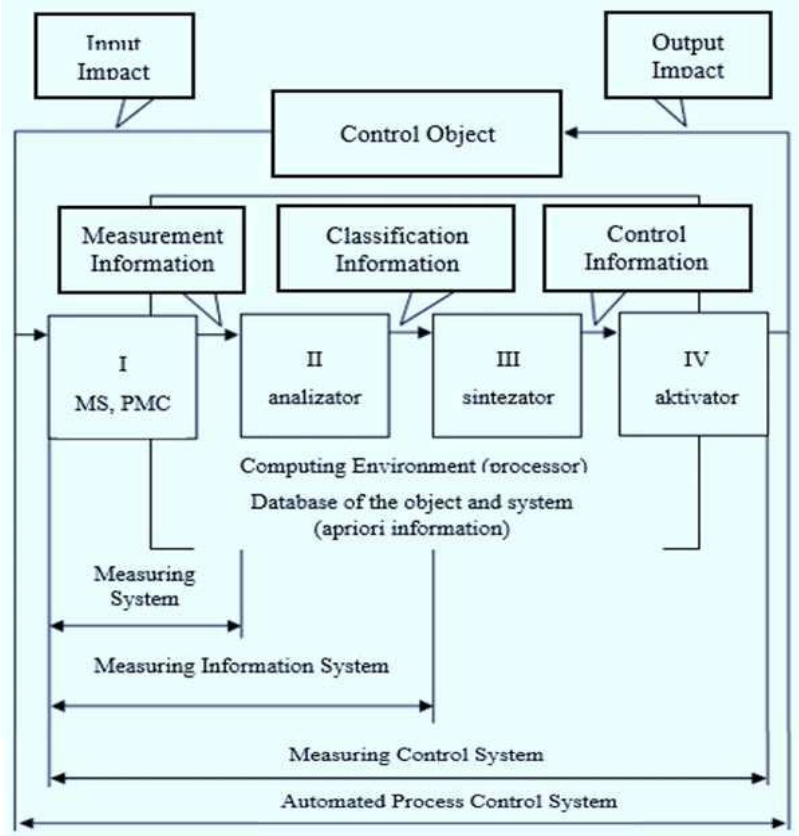


Figure 1 – Simplified structure of the IIS and APCS
Here: I – Measurement subsystems, II – Classification subsystems, III – Control subsystems, IV – Execution subsystems, PMT – main measurement transducers
Рисунок 1 – Упрощенная структура информационно-измерительной системы и автоматизированной системы управления технологическим процессом
Здесь: I – измерительные подсистемы, II – подсистемы классификации, III – подсистемы управления, IV – исполнительные подсистемы, ПМТ – основные измерительные преобразователи

These problems are solved to a certain extent using widely used traditional information and measurement systems (IMS).

2. Purpose and Types of Integrated Circuits.

Key Characteristics of Integrated Circuits:

- application Area; Assembly Method;
- input Signal Structure and Types;
- measurement Types;
- component Operating Mode and Functional Characteristics.

By application area, integrated circuits are divided into the following groups:

- for scientific research;
- for testing and monitoring complex products;
- for process control.

By Assembly Method:

- aggregate;
- non-aggregate, consisting of components specifically designed for specific systems.

Aggregate integrated circuits typically include a universal core-a central control system (DCS), from which integrated circuits for various purposes can be built using sensors for various physical quantities.

3. Design Features.

By Design Features:

- parallel-Serial Systems. The main feature of this structure is the presence of a periodically changing DCS with multiple sensors;

– parallel systems consisting of several simultaneously operating channels, whose output systems are transformed by a single functional converter and processed on a single computing device.

Input signals to an integrated circuit can be continuous or discrete, deterministic or random.

Depending on the relationship between the rate of change of input signals and the inertial properties of the system, two main operating modes of the IMS are distinguished: static and dynamic. In dynamic mode, the inertial properties of the system influence the measurement result.

An IMS component is defined as a technical device within the IMS that performs one of the functions required for the measurement process and the conversion of measurement information into other types of information. Based on their functions, components are divided into measurement, communication, computational, and informational.

The connecting component of an IMS is a technical device or part of the surrounding environment designed or used to transmit signals carrying information about the measured value from one component of the IMS to another with minimal possible distortion.

The computing component of an IMS is a digital computing device (or part thereof) together with software that processes (calculates) observation results to obtain, by calculation, measurement results expressed as a number or corresponding code.

Computing components are subdivided into:

– analog computing – analog devices whose output signal is a function of two or more signals;

– digital computing – devices whose digital output signal is a function of two or more signals.

The information component of an IMS is a technical device designed to receive, store, convert, and transmit information. From the perspective of the information theory of measuring devices, the measurement process performed by any measuring device (including the necessary actions of the human operator) consists of a series of sequential transformations of information about the measured value, carried out until it is represented in the form required for the high-precision measurement. The measuring instrument is considered a channel for receiving and transmitting information (measurement). Thus, the measuring instrument and the measuring component of the IMS are a type of information component.

The information and measuring channel of each electronic measuring device consists of the following functional modules:

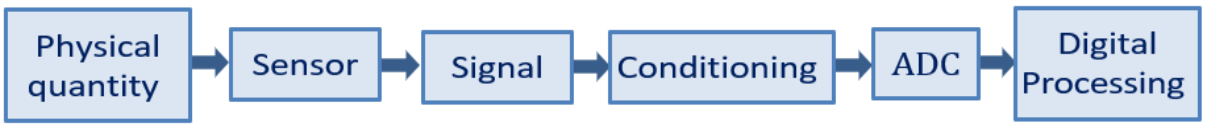


Figure 2 – Information-measuring channel
Рисунок 2 – Информационно-измерительный канал

4. Compensation for External Influences.

The best method for self-compensation of external influences on measuring systems is considered to be the test measurement method. There are quite a lot of external influence factors, and the most persistent of them is the effect of temperature. The reduction of these and other influences does not depend only on external conditions. Even internal errors of the system occur.

The test measurement system is implemented on a similar – analogous principle for almost all parameters. For clarity, let's look at the principle of autocompensation on the example of changes in the metrological characteristics of sensors due to temperature changes. To reduce the influence of temperature and correct the error caused by changes in external conditions, it is possible to use the method of additional measurements of disturbing effects, in particular temperature. Invariance to the additional error of any sensor that occurs when the ambient temperature changes with a known temperature influence function is achieved by using an additional temperature measurement channel.

Materials and methods. The presented experimental results from numerous tests demonstrate that each sensor sample has its own unique characteristics that influence the research results. Given the unique characteristics of the sensors, the functions $y_0(t^0)$, $a_1(t^0)$, $a_2(t^0)$, and $a_3(t^0)$ can be approximated by a third-degree polynomial. This function shows the sensor calibration parameters as a function of temperature:

$$y_0(t^0) = f\{\, a_1(t^0), a_2(t^0), a_3(t^0)\}, \quad (1)$$

Achieving high precision requires a rational approach that significantly improves measurement accuracy. The key factor is the correct selection and precise placement of reference values in test models. In other words, this involves using structures based on reference test data. This approach allows the use of any sensor with short-term (real-time) stability, paving the way for the development of "smart" sensors.

A rational strategy involves significantly improving measurement accuracy to achieve the required precision. This is achieved through the correct selection of reference values and their precise integration into test models, which is equivalent to the use of structures based on reference test data. This approach enables the use of any sensor with short-term (real-time) stability, forming the basis for the concept of a "smart" sensor.

Fig. 3 below shows a structural model for testing a differential pressure sensor, consisting of three reference values (RV) (example of the most accurate value): P_{RV1} , P_{RV2} *and* P_{RV3}.

The measurement process is cyclical, consisting of n cycles of differential pressure measurement at n inputs, and four cycles of reference pressure measurements:): P_{RV1} , P_{RV2}, P_{RV3}., and air pressure P_0. As a result of the measurement process, we obtain the following system of equations.

$$\left\{\begin{array}{c} M_1 = a_1 P_{x1} + a_2 P_{x1}^2 + a_3 P_{x1}^3 + a_0 \\ M_2 = a_1 P_{x2} + a_2 P_{x2}^2 + a_3 P_{x2}^3 + a_0 \\ \dots\dots \quad \dots\dots \quad \dots\dots\dots \quad \dots\dots\dots \quad \dots\dots \\ M_n = a_1 P_{xn} + a_2 P_{xn}^2 + a_3 P_{xn}^3 + a_0 \\ M_{n+1} = a_1 P_{RV1} + a_2 P_{RV1}^2 + a_3 P_{RV1}^3 + a_0 \\ M_{n+2} = a_1 P_{RV2} + a_2 P_{RV2}^2 + a_3 P_{RV2}^3 + a_0 \\ M_{n+3} = a_1 P_{RV3} + a_2 P_{RV3}^2 + a_3 P_{RV3}^3 + a_0 \\ M_{n+4} = a_0 \end{array}\right\} \quad (2)$$

From the last four equations of the system (2) the parameters a_0, a_1, a_2 and a_3 are determined. Then, from the first n equations any quantities $P_{x1}, \dots, P_{xn}$ are determined. It is clear that the measurement results will remain unchanged by the parameters a_0, a_1, a_2 and a_3 of the transformation function of the measurement system. In this system, the measurement accuracy is practically determined by the accuracy of the reference pressure gauges P_{RV1} , P_{RV2}, P_{RV3}.

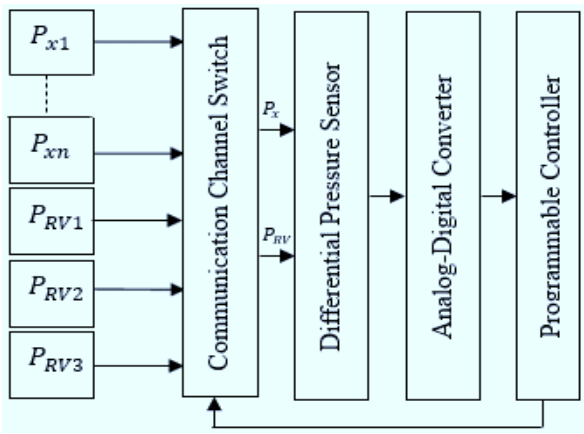


Figure 3 – IMS structure with three sample signals
Рисунок 3 – Структура IMS с тремя сигналами выборки

From the last four equations of the system (2) the parameters a_0, a_1, a_2 and a_3 are determined. Then, from the first n equations any quantities $P_{x1}, \dots, P_{xn}$ are determined. It is clear that the measurement results will remain unchanged by the parameters a_0, a_1, a_2 and a_3 of the transformation function of the measurement system. In this system, the measurement accuracy is practically determined by the accuracy of the reference pressure gauges P_{RV1} , P_{RV2}, P_{RV3}.

The main drawback of the considered IMS structure is the need for three reference pressure sensors. This problem can be simplified using an iterative nonlinearity correction algorithm. In this case, a single reference pressure sensor can be used. The structure of such an IMS is shown in Figure 4.

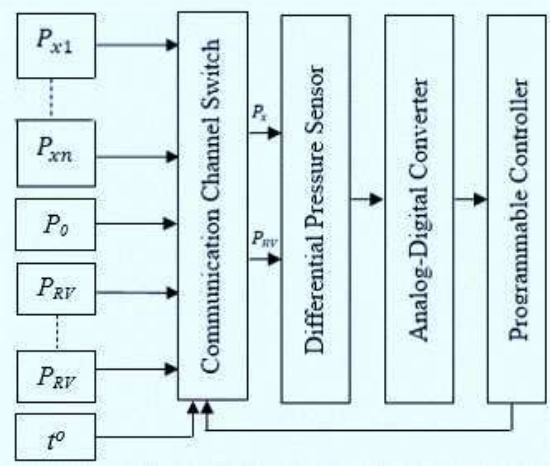


Figure 4 – The structure of the IMS with an iterative algorithm for correcting nonlinearity
Рисунок 4 – Структура IMS с итеративным алгоритмом коррекции нелинейности

The measurement process, as in the previous case, is cyclical and consists of *N* cycles of measuring the differential pressure in *N* inputs and two auto-correction cycles, in one of which the reference value of the pressure sensor P_{RV} is measured, and in the second, the ambient air pressure P_0.

As a result of the cycle, we obtain the following system of equations:

$$\left\{\begin{array}{c} M_1 = a_1 \mathrm{P}_{x1} + a_2 \mathrm{P}_{x1}^2 + a_3 \mathrm{P}_{x1}^3 + a_0 \\ \dots\dots \quad \dots\dots \quad \dots\dots\dots \quad \dots\dots\dots \quad \dots \\ M_n = a_1 \mathrm{P}_{xn} + a_2 \mathrm{P}_{xn}^2 + a_3 \mathrm{P}_{xn}^3 + a_0 \\ M_{n+1} = a_1 \mathrm{P}_{RV} + a_2 \mathrm{P}_{RV}^2 + a_3 \mathrm{P}_{RV}^3 + a_0 \\ M_{n+2} = a_0 \\ a_3 \approx a_{3\text{н}} \\ a_2 \approx a_{2\text{н}} \end{array}\right\} \quad (3)$$

The structure and algorithm under consideration are effective for relatively small nonlinearity errors, which is true for most common industrial sensors. As the nonlinearity error increases, the accuracy of this method significantly deteriorates.

The last two equations determine the system sensitivity, i.e., the parameter a_1.

$$a_1 = \frac{M_{n+1} - \sum_{i=2}^{3} a_i P_{RV}^i - M_{n+2}}{P_{RV}} \quad (4)$$

Then, from the first n equations, the desired values $\mathrm{P}_{x1}, \dots, \mathrm{P}_{xn}$ are determined using the iterative algorithm discussed above.

The measurement accuracy in the structure under consideration is essentially determined by the accuracy of the pressure regulator, the variation of parameters a_2 and a_3 from their nominal values, and the overall nonlinearity error, which determines the degree to which the deviation of parameters a_2 and a_3 from their nominal values influences the measurement result.

As can be seen, various structural models perform iterative refinements or recognition of transformation characteristics. This makes it possible to select the most appropriate structural and algorithmic model.

Conclusion. The main contributions of this work are summarized as follows:

1. Development of a system-level architecture that unifies information-measuring subsystems and adaptive control mechanisms into a single intelligent framework.
2. Formulation of an adaptive measurement model incorporating sensor uncertainty, dynamic calibration, and reliability weighting.
3. Design of an intelligent data fusion and estimation structure for multi-sensor UAV environments.
4. Integration of adaptive control algorithms with real-time information feedback from the intelligent measurement system.
5. Establishment of a formal modeling framework for system analysis, scalability, and future expansion toward fully autonomous cognitive UAV platforms.

Заключение. Основные результаты данной работы можно резюмировать следующим образом:

- разработка архитектуры системного уровня, объединяющей информационно-измерительные подсистемы и адаптивные механизмы управления в единую интеллектуальную структуру;
- формулировка адаптивной модели измерения, включающей неопределенность датчиков, динамическую калибровку и взвешивание надежности;
- разработка интеллектуальной структуры слияния и оценки данных для многосенсорных БПЛА;
- интеграция алгоритмов адаптивного управления с обратной связью в реальном времени от интеллектуальной измерительной системы;
- создание формальной модели для анализа системы, масштабируемости и будущего расширения в направлении полностью автономных когнитивных платформ БПЛА.

References

1. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. UK, 2010.
2. Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J., Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Germany, 2015.
3. Gupta L., Jain R., Vaszkun G. Survey of important issues in UAV communication networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. V. 18. No 2. Pp. 1123-1152.
4. Hassanalian M., Abdelkefi A. Classifications, applications, and design challenges of drones. Progress in Aerospace Sciences. 2017. V. 91. Pp. 99-131.
5. Beard R. W., McLain T. W. Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice. Princeton University Press, 2012.
6. Bouabdallah S., Murrieri P., Siegwart R. Design and control of an indoor micro quadrotor. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2004. Pp. 4393-4398.
7. Slotine J. J. E., Li W. Applied Nonlinear Control. Prentice Hall, 1991.
8. Khalil H. K. Nonlinear Systems. Prentice Hall, 2002.
9. Lee E. A. Cyber physical systems: Design challenges. IEEE International Symposium on Object-Oriented Real-Time Distributed Computing. 2008. Pp. 363-369.
10. Rajkumar R., Lee I., Sha L., Stankovic J. Cyber-physical systems: The next computing revolution. Design Automation Conference. 2010. Pp. 731-736.
11. Siciliano B., Khatib O. Springer Handbook of Robotics. Germany, 2016.
12. Ljung L. System Identification: Theory for the User. Prentice Hall, 1999.
13. Astrom K. J., Murray R. M., Feedback Systems: Introduction for Scientists and Engineers. Princeton University Press, 2008.
14. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. UK, 2006.
15. Haykin S. Neural Networks and Learning Machines. Pearson, 2009.
16. Zhou Z. Machine Learning. Tsinghua University Press, 2016. 17. Narendra K. S., Annaswamy A. M. Stable Adaptive Systems. Dover Publications, 2005. 18. Ioannou P., Sun J. Robust Adaptive Control. Prentice Hall, 1996.
19. Hall D. L., Llinas J. Handbook of Multisensor Data Fusion. CRC Press, 2001.
20. Khaleghi B., Khamis A., Karray F., Razavi S. Multisensor data fusion: A review of the state-of-the-art. Information Fusion. 2013. V. 14. No 1. Pp. 28-44.
21. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. USA: MIT Press, 2016. 22. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: Introduction. USA: MIT Press, 2018.
23. Corke P. Robotics, Vision and Control. Germany, 2017. 24. Thrun S., Burgard W., Fox D., Probabilistic Robotics. USA: MIT Press, 2005.
25. Rasmussen C. E., Williams C. K. I. Gaussian Processes for Machine Learning, USA: MIT Press, 2006.
26. Slotine J.-J., Wang W. A study of intelligent control systems. IEEE Control Systems Magazine. V. 11. No 2. Pp. 41-51.
27. Isayev M., Gurbanov M., Mahmudbeyli L., Khasayeva N., Isgandarova S. The Principle of Development of an Intelligent System for Automatic Calibration of Control-Measuring Devices of Aircraft. International Conference on Information Technologies and Their Applications. 2024. Pp. 44-54

Библиографический список

1. Austin R. Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. UK, 2010.
2. Valavanis K. P., Vachtsevanos G. J., Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Germany, 2015.
3. Gupta L., Jain R., Vaszkun G. Survey of important issues in UAV communication networks. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. V. 18. No 2. Pp. 1123-1152.
4. Хассаналян М., Абделькефи А. Классификация, применение и проблемы проектирования дронов. Прогресс в аэрокосмических науках. 2017. Т. 91. С. 99-131.
5. Бирд Р. В., Маклейн Т. В. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика, Princeton University Press, 2012.
6. Буабдалла С., Мурриери П., Зигварт Р. Проектирование и управление микроквадрокоптером для помещений. Международная конференция IEEE по робототехнике и автоматизации (ICRA). 2004. С. 4393-4398.
7. Слотин Дж. Дж. Е., Ли В. Прикладное нелинейное управление. США: PrenticeHall, 1991.
8. Халил Х. К. Нелинейные системы. США: PrenticeHall, 2002.
9. Ли Э. А. Киберфизические системы: проблемы проектирования. Международная конференция IEEE Симпозиум по объектно-ориентированным распределенным вычислениям в реальном времени. 2008. С. 363-369.
10. Раджкумар Р., Ли И., Ша Л., Станкович Дж. Киберфизические системы: следующая вычислительная революция. Конференция по автоматизации проектирования. 2010. С. 731-736.

11. Сичилиано Б., Хатиб О. Справочник по робототехнике. Германия, 2016.
12. Люнг Л. Идентификация системы: теория для пользователя. США: PrenticeHall, 1999.
13. Астром К. Дж., Мюррей Р. М. Системы обратной связи: введение для ученых и инженеров. США: Princeton University Press, 2008.
14. Бишоп К. М. Распознавание образов и машинное обучение. Великобритания, 2006.
15. Хайкин С. Нейронные сети и обучающие машины. США: Pearson, 2009.
16. Чжоу Ч. Машинное обучение. Издательство Университета Цинхуа, 2016.
17. Нарендра К. С., Аннасвами А. М. Стабильные адаптивные системы. США: Dover Publications, 2005.
18. Иоанну П., Сунь Дж., Надежное адаптивное управление. США: PrenticeHall, 1996.
19. Холл Д. Л., Ллинас Дж. Справочник по слиянию данных с нескольких датчиков. США: CRC Press, 2001.
20. Халеги Б., Хамис А., Каррай Ф., Разави С. Слияние данных с нескольких датчиков: обзор «Современное состояние технологий. Information Fusion. 2013. Т. 14. №. 1. С. 28-44.
21. Гудфеллоу И., Бенджио Й., Курвиль А. Глубокое обучение. США: MIT Press, 2016.
22. Саттон Р. С., Барто А. Г. Обучение с подкреплением: введение. США: MIT Press, 2018.
23. Корке П. Робототехника, зрение и управление. Германия, 2017.
24. Трун С., Бургард В., Фокс Д. Вероятностная робототехника. США: MIT Press, 2005.
25. Расмуссен К. Е., Уильямс К. К. И. Гауссовские процессы для машинного обучения. США: MIT Press, 2006.
26. Слотин Ж.-Ж., Ван В. Исследование интеллектуальных систем управления. IEEE Control Systems Magazine. Т. 11. № 2. С. 41-51.
27. Исаев М., Гурбанов М., Махмудбейли Л., Хасаева Н., Исгандарова С. Принцип разработки интеллектуальной системы автоматической калибровки контрольно-измерительных приборов летательных аппаратов. Международная конференция по информационным технологиям и их применению. 2024. С. 44-54.

Authors' Information
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
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
Khalilov Khalid Khalig ogly, graduate student, Institute of Mathematics (Azerbaijan Republic, Baku).
Kasymov Kamran Rovshan ogly, graduate student, Azerbaijan Technological University, (Azerbaijan Republic, Baku).

Информация об авторах
Исаев Мазахир Магоммед оглы, доктор технических наук, профессор, Азербайджанский университет архитектуры и строительства; Институт математики (Азербайджанская Республика, г. Баку), e-mail: mezahir@bk.ru
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
Халилов Халид Халиг оглы, аспирант, Институт математики (Азербайджанская Республика, г. Баку).
Касымов Камран Ровшан оглы, аспирант, Азербайджанский технологический университет (Азербайджанская Республика, г. Баку).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-06

THE WEATHER AND CLIMATE CONDITIONS INFLUENCE ON THE SEX COMPOSITION DYNAMICS AND MORPHOLOGY OF THE MONOECIOUS HEMP OF THE SEIM VARIETY IN THE AGROCENOSES OF KUBAN

Kovtunenko V. Ya., Meleshko D. A.

National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko
Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: mda@kniish.ru

Received 09.02.2026 Submitted 26.03.2026

The research was carried out within the framework of project No. 0690-2018-0009 "Select valuable initial material of southern hemp of monoecious and dioecious types, lacking narcotic activity, with a fiber yield of 2.3-3.0, seed yield of 0.5-0.9 t/ha, and a vegetation period of 120-145 days" of the Laboratory of Seed Production and Varietal Agricultural technology of Hemp, FSBSI "National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko".

Summary
The article presents the results of long-term observations (2020-2023) of a monoecious population of industrial hemp of the Seim variety in the conditions of the Central Zone of Krasnodar Region on leached degraded black-colored soils. A pronounced dynamics of the sex composition towards an increase in the proportion of male plants (pollen hemp) was established against the background of hot and arid conditions during the growing seasons. Morphological traits (plant height, technical stem length, stem diameter) demonstrated less variability but also depended on the hydrothermal regime. The best productivity indicators were noted in 2023, which was characterized by a higher level of precipitation. It is concluded that agricultural practices that mitigate weather stress are necessary to preserve the stability of varietal characteristics.

Abstract

Introduction. Monoecious varieties of industrial hemp, such as the Seim variety, are of strategic interest to the Russian agricultural sector due to their technological advantages, the main one being the synchronous ripening of the crop. This significantly increases the efficiency of mechanized harvesting and the stability of fiber yield and quality. However, in the context of intensifying climate change, manifested in the increasing frequency of extreme weather events (heat, drought) in key cultivation regions, the genetically determined trait of monoecious demonstrates high phenotypic plasticity and instability. A shift in the sex composition of the population towards male forms under the influence of abiotic stressors directly threatens crop yield and profitability. Thus, a comprehensive study of the response of monoecious hemp to weather variability is an urgent scientific and practical task, the solution of which is necessary for the development of adaptive farming systems and maintaining the competitiveness of domestic hemp production. **The research hypothesis** was that hydrothermal stress (high temperatures and precipitation deficit) during critical development phases is the leading factor determining the shift in the sex composition of a monoecious hemp population towards an increase in the proportion of male plants (pollen hemp) and causing adaptive changes in the morphological structure of plants towards the xeromorphic type. **The aim of the study** was to conduct a comprehensive analysis of the relationship between the dynamics of meteorological parameters, changes in the sex composition and morphological traits of a monoecious population of the Seim hemp variety in the agrarian cenoses of the Central Zone of Krasnodar Region to develop practical recommendations for stabilizing varietal characteristics. **The object** of the study was a monoecious population of industrial hemp (Cannabis sativa L.) of the Seim variety under conditions of leached degraded black-colored soils. **Materials and methods.** The work was based on data from long-term field observations (2020-2023). Recording of sex composition (5 plant types) and morphometric indicators (height; technical stem length; stem diameter; etc.) was carried out on model plants. Analysis of meteorological data (temperature, precipitation, air humidity) was performed for the key months of the growing season, followed by comparative and correlation analysis (Pearson's coefficient). **Results and conclusions.** It was found that a series of dry growing seasons (2020-2022) led to a sharp (11-fold) increase in the proportion of male plants (pollen hemp) – from 4 % to 44 %. Morphological traits demonstrated high plasticity: under conditions of moisture deficit, linear growth was suppressed, the number of internodes decreased, but the stem diameter adaptively increased. A strong direct correlation of plant height (r = +0,95) and technical length (r = +0,91) with precipitation in the June-July period confirmed that water availability is the key limiting factor for productivity. Conclusion: to maintain the stability of monoecious and realize the potential of the Seim variety in the conditions of Kuban, a system of agricultural practices is necessary that actively manages the water regime, including regulated irrigation during critical phases.

Keywords: *cannabis sativa, cannabis varieties, technical cannabis varieties, monoecious cannabis varieties, cultivation of cannabis sativa, conditions for the cultivation of cannabis sativa.*

Citation. Kovtunenko V. Ya., Meleshko D. A. The weather and climate conditions influence on the sex composition dynamics and morphology of the monoecious hemp of the Seim variety in the agrocenoses of Kuban. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 61-72 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-06.

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

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

УДК 633.5:631.527

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ ПОЛОВОГО СОСТАВА И МОРФОЛОГИЮ ОДНОДОМНОЙ КОНОПЛИ СОРТА СЕЙМ В АГРОЦЕНОЗАХ КУБАНИ

Ковтуненко В. Я., *доктор сельскохозяйственных наук*
Мелешко Д. А., соискатель

ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко»
г. Краснодар, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения темы № 0690-2018-0009 "Выделить ценный исходный материал южной конопли однодомного и двудомного типов, не обладающий наркотической активностью, с урожайностью волокна 2,3-3,0, семян 0,5-0,9 т/га, вегетационным периодом 120-145 дней" лаборатории семеноводства и сортовой агротехники конопли ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко».

Актуальность. Однодомные сорта технической конопли, такие как сорт Сейм, представляют стратегический интерес для аграрного сектора России благодаря технологическим преимуществам, главным из которых является синхронное созревание урожая. Это позволяет существенно повысить эффективность механизированной уборки, стабильность выхода и качество волокна. Однако в усло-

виях усиления климатических изменений, проявляющихся в учащении экстремальных погодных явлений (жара, засуха) в ключевых регионах возделывания, генетически детерминированный признак однодомности демонстрирует высокую фенотипическую пластичность и нестабильность. Смещение полового состава популяции в сторону мужских форм под воздействием абиотических стрессоров напрямую угрожает урожайности и рентабельности культуры. Таким образом, комплексное изучение реакции однодомной конопли на вариабельность погодных условий является актуальной научно-практической задачей, решение которой необходимо для разработки адаптивных систем земледелия и сохранения конкурентоспособности отечественного коноплеводства. **Гипотеза исследования** заключалась в том, что гидротермический стресс (высокие температуры и дефицит осадков) в критические фазы развития является ведущим фактором, детерминирующим сдвиг полового состава однодомной популяции конопли в сторону увеличения доли мужских растений (поскони) и вызывающим адаптивные изменения морфологической структуры растений по ксероморфному типу. **Цель исследования** – провести комплексный анализ взаимосвязи между динамикой метеорологических параметров, изменением полового состава и морфологических признаков однодомной популяции конопли сорта Сейм в агроценозах Центральной зоны Краснодарского края для разработки практических рекомендаций по стабилизации сортовых характеристик. **Объект исследования** – однодомная популяция технической конопли (Cannabis sativa L.) сорта Сейм в условиях выщелоченного деградированного чернозёма. **Материалы и методы.** В основу работы легли данные многолетних полевых наблюдений (2020-2023 гг.). Учёт полового состава (5 типов растений) и морфометрических показателей (высота, техническая длина, диаметр стебля и др.) проводился на модельных растениях. Анализ метеоданных (температура, осадки, влажность воздуха) выполнялся за ключевые месяцы вегетации с последующим сравнительным и корреляционным анализом (коэффициент Пирсона). **Результаты и выводы.** Установлено, что серия засушливых вегетационных сезонов (2020-2022 гг.) привела к резкому (в 11 раз) увеличению доли мужских растений (поскони) – с 4 % до 44 %. Морфологические признаки продемонстрировали высокую пластичность: в условиях влагодефицита угнетался линейный рост, сокращалось число междоузлий, но адаптивно увеличивался диаметр стебля. Сильная прямая корреляция высоты растений (r = +0,95) и технической длины (r = +0,91) с осадками в период июнь-июль подтвердила, что водообеспеченность – ключевой лимитирующий фактор продуктивности. Вывод: для сохранения стабильности однодомности и реализации потенциала сорта Сейм в условиях Кубани необходима система агроприёмов, активного управляющая водным режимом, включая регулируемое орошение в критические фазы.

Ключевые слова: *конопля посевная, сорта конопли, технические сорта конопли, однодомные сорта конопли, возделывание конопли посевной, условия возделывания конопли посевной.*

Цитирование. Ковтуненко В. Я., Мелешко Д. А. Влияние погодно-климатических условий на динамику полового состава и морфологию однодомной конопли сорта Сейм в агроценозах Кубани. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 61-72. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-06.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Однодомные сорта технической конопли (Cannabis sativa L.) представляют значительный интерес для современного сельскохозяйственного производства благодаря ряду агротехнических и технологических преимуществ. Главным из них является одновременное присутствие мужских (тычиночных) и женских (пестичных) генеративных органов на одном растении, что обеспечивает синхронное цветение и созревание урожая. Данная биологическая особенность позволяет минимизировать потери при уборке, повысить выход и стабильность качества волокна, а также снизить риски, связанные с неравномерным созреванием, характерным для двудомных форм [1, 2]. Сорт Сейм, включённый в Государственный реестр селекционных достижений РФ, является ярким представителем однодомной конопли и рекомендован для возделывания в нескольких регионах России, включая Северо-Кавказский регион.

Однако генетически детерминированная однодомность, будучи ценным селекционным приобретением, представляет собой сложный фенотипический признак, подверженный значительным модификациям под влиянием факторов внешней среды [3, 4]. Половое развитие у растений конопли регулируется сложным взаимодействием генетических программ и экологических сигналов. Критический период половой дифференциации, приходящийся на ранние стадии органогенеза, особенно чувствителен к абиотическим стрессам. Многочисленными исследованиями установлено, что температурный стресс, дефицит почвенной влаги и пониженная относительная влажность воздуха являются мощными факто-

рами, способными смещать половой баланс в популяции в сторону увеличения доли мужских особей или мужских цветков [5, 6]. Это явление имеет глубокие физиолого-биохимические основы, связанные с изменением гормонального статуса растения (соотношения ауксинов, гиббереллинов, цитокининов и этилена) под воздействием стресса, что, в свою очередь, модулирует экспрессию генов, ответственных за формирование пола [7, 8]. Такое смещение полового состава напрямую сказывается на хозяйственно ценных показателях: увеличение доли мужских растений (поскони) приводит к снижению урожайности семян и неравномерному созреванию волокна, поскольку посконь завершает вегетацию раньше матерки.

Центральная зона Краснодарского края, являясь традиционно благоприятным регионом для возделывания конопли благодаря высоким тепловым ресурсам и продолжительному вегетационному периоду, в последние десятилетия испытывает на себе последствия изменяющегося климата [9, 10]. Наблюдается увеличение повторяемости и интенсивности засушливых периодов в течение вегетационного сезона, рост среднесуточных температур, учащение волн жары. Почвенные условия региона, в частности, широкое распространение выщелоченных деградированных чернозёмов, характеризующихся пониженной влагоудерживающей способностью и неблагоприятными физическими свойствами, усугубляют негативное воздействие атмосферной засухи, создавая для растений режим комплексного почвенно-атмосферного стресса [11].

Помимо полового состава, погодно-климатические условия являются ключевым фактором, определяющим морфогенез конопли. Такие хозяйственно важные морфологические признаки, как высота растений, техническая длина стебля, диаметр стебля, число междоузлий и длина соцветий, формируются под непосредственным влиянием гидротермического режима [12, 13]. В условиях дефицита влаги и высоких температур наблюдается угнетение линейного роста, сокращение числа междоузлий, ускорение онтогенеза и формирование ксероморфной структуры растений, что в совокупности ведет к недобору урожая волокна и семян [14]. Таким образом, для прогнозирования продуктивности и управления сортовыми характеристиками в конкретных почвенно-климатических условиях необходим комплексный анализ, учитывающий взаимосвязь между динамикой метеопараметров, половым составом и морфологией растений.

Целью настоящего исследования явился комплексный анализ взаимосвязи между динамикой метеорологических параметров (температура воздуха, количество осадков, относительная влажность), изменением полового состава и морфологических признаков однодомной популяции конопли сорта Сейм в агроценозах центральной зоны Краснодарского края на выщелоченном деградированном чернозёме.

Задачи исследований:

1. Дать агроклиматическую характеристику вегетационных периодов 2020-2023 годов с выделением аномалий и стрессовых для конопли явлений.
2. Изучить динамику полового состава популяции (соотношение женских, мужских и однодомных форм) в течение четырёх лет наблюдений.
3. Оценить изменчивость основных морфометрических показателей растений (высота, техническая длина, диаметр стебля, длина соцветий, число междоузлий) в зависимости от условий года.
4. Провести корреляционный анализ для установления количественных взаимосвязей между морфологическими признаками и погодными условиями.
5. На основе полученных данных разработать практические рекомендации по стабилизации полового состава и продуктивности однодомной конопли в условиях возрастающих климатических рисков.

Материалы и методы. Объект исследования – однодомная популяция технической конопли (Cannabis sativa L.) сорта Сейм.

Период и место проведения наблюдений. Исследования проводились в период с 2020 по 2023 год в условиях центральной зоны Краснодарского края. Почва опытного участка – выщелоченный деградированный чернозём. За базовые значения (контроль) были приняты исходные показатели популяции.

Методика исследований.

1. Учёт полового состава: ежегодно в фазу полной зрелости проводился визуальный учёт и подсчёт растений по типам:

- обычная матерка (женские);
- однодомная матерка (с преобладанием женских цветков);
- посконь (мужские);
- однодомная феминизированная посконь (с преобладанием мужских цветков);
- феминизированная посконь.

2. Морфометрические измерения: у 20 модельных растений из каждой выборки измерялись следующие параметры:

- высота растения, см;
- техническая длина стебля, см;
- длина соцветий, см;
- диаметр стебля, мм;
- число междоузлий.

3. Анализ метеорологических данных проводился по декадам за ключевые месяцы вегетации конопли (апрель-август) 2020-2023 гг. Анализировались средняя температура воздуха, сумма осадков и относительная влажность воздуха. Данные сравнивались со среднемноголетними значениями для выявления аномалий.

Обработка данных проводилась методами сравнительного и корреляционного анализа.

Результаты и обсуждение. Анализ метеорологических условий вегетационных периодов (2020-2023 гг.).

Анализ данных выявил значительные отклонения погодных условий от среднемноголетней нормы в течение всех лет наблюдений.

В 2020 году начало вегетации (апрель-май) было прохладным (текущая температура ниже нормы на 1-3 °С) с дефицитом осадков, особенно в 1-2 декадах апреля (0,3 и 5,7 мм против нормы 15 и 21 мм). Лето было жарким, особенно июль и август, где средние температуры превышали норму на 2-4 °С. Относительная влажность воздуха была значительно ниже нормы, достигая 35-44 % в августе, что указывает на сильную атмосферную засуху.

2021 год характеризовался экстремально жарким и засушливым летом. В июле и августе средние температуры были на 3-4 °С выше нормы, а осадков выпало катастрофически мало (сумма за июль – 14,7 мм при норме 58 мм, за август – 71,8 мм при норме 51 мм). Относительная влажность в июле опускалась до 42-49 %.

2022 год продолжил тенденцию жарких периодов. Июнь и июль были значительно теплее нормы. Наблюдался резкий дефицит осадков в первую половину лета (июнь – 64 мм при норме 82 мм, с неравномерным распределением) и их избыток во второй половине (июль – 70,9 мм). Высокие температуры сочетались с низкой относительной влажностью (51-56 % в августе).

2023 год выделился как наиболее влажный. Температурный режим был близок к норме, но с жаркими периодами в августе. Ключевым отличием стало большое количество осадков в мае-июле (сумма за июнь – 104,9 мм при норме 82 мм), что создало более благоприятные условия увлажнения.

Таким образом, 2020-2022 годы можно охарактеризовать как последовательность вегетационных сезонов с выраженными стрессовыми факторами: высокая температура, дефицит осадков и низкая влажность воздуха. 2023 год был существенно мягче.

Динамика полового состава популяции.

Наблюдения выявили ярко выраженную и статистически значимую трансформацию половой структуры популяции (таблица 1).

За четыре года произошло кардинальное изменение:

- доля обычной поскони (чисто мужских растений) возросла в 11 раз – с 4 % до 44 %;
- доля феминизированной поскони сократилась с 20 % до 1 %, то есть практически была элиминирована из популяции;
- количество однодомных форм (как матерки, так и поскони) также неуклонно снижалось;
- доля обычной матерки (чисто женских растений) увеличилась, что, вероятно, является компенсаторной реакцией для сохранения репродуктивного потенциала.

Таблица 1 – Динамика полового состава популяции конопли сорта Сейм, %
(г. Краснодар «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» 2020-2023 гг.)
Table 1 – Dynamics of the sex composition of the Seym hemp population, %
(Krasnodar, P. P. Lukyanenko Research Center, 2020-2023)

год / year	обычная матерка / ordinary female plant	однодомная матерка / monoecious female form of the plant	посконь / the male form of the plant	однодомная феминизированная посконь / monoecious feminized version	феминизированная посконь / feminized version of the plant
база / base	29	21	4	25	20
2020	37	16	18	22	6
2021	44	12	37	5	1
2022	43	10	43	2	1
2023	44	9	44	1	1

Эта динамика четко коррелирует с погодными условиями. Наиболее резкий скачок в увеличении доли поскони произошел между базовым периодом и 2021 годом, который был экстремально жарким и засушливым. Полученные данные согласуются с работами, указывающими на то, что абиотические стрессы, в частности тепловой шок и водный дефицит, могут ингибировать экспрессию генов, ответственных за женский тип цветения, и/или способствовать активации мужской программы развития [2, 5]. Низкая влажность воздуха также является известным фактором, способствующим увеличению выхода мужских растений.

Изменение морфологических признаков.

Морфологические признаки растений являются интегральными показателями, отражающими совокупное влияние генотипа и условий внешней среды. В отличие от полового состава, который продемонстрировал резкую и однонаправленную динамику, морфометрические параметры популяции конопли сорта Сейм показали более сложную, волнообразную изменчивость, что указывает на их высокую пластичность и зависимость от специфики погодных условий каждого конкретного вегетационного сезона (таблица 2).

Высота растений и техническая длина стебля – ключевые показатели, определяющие урожайность волокна. Их динамика четко коррелирует с условиями увлажнения в критические периоды роста.

В 2020 году наименьшие значения общей высоты (248 см) и технической длины (201 см) обусловлены комплексным стрессом в начальный период вегетации. Прохладная и засушливая погода в апреле-мае (осадков выпало в 2-4 раза меньше нормы) сдерживала ростовые процессы в фазе всходов и интенсивного стеблевания. Недостаток влаги и относительно низкие температуры лимитировали клеточное деление и растяжение, что в итоге привело к формированию наиболее низкорослых растений за весь период наблюдений.

В 2021 году, несмотря на экстремальную летнюю засуху, показатели высоты (272 см) и технической длины (231 см) были значительно выше, чем в 2020 году. Это можно объяснить двумя факторами. Во-первых, более благоприятным температурным режимом в мае (средняя температура 18,1 °C против 16,4 °C в 2020 г.), что позволило растениям сформировать мощный вегетативный остов до наступления пика летней жары. Во-вторых, возможным использованием почвенных запасов влаги, накопленных в предшествующий период.

В 2022 году снижение общей высоты (257 см) и технической длины (208 см) после некоторого подъема в 2021 году связано с дефицитом осадков в первой половине лета (июнь), который пришелся на фазу активного роста. Жаркая погода (средняя температура июня 22,5 °C) усилила испарение, а недостаток влаги в почве привел к угнетению ростовых процессов.

В 2023 году наивысшие значения как высоты (290 см), так и технической длины (240 см) были достигнуты в условиях наиболее оптимального водного режима. Повышенное количество осадков в мае (93,6 мм) и июне (104,9 мм) полностью обеспечило потребности растений в воде в критически важные фазы развития, что способствовало интенсивному росту стебля в длину.

Диаметр стебля оказался наиболее стабильным признаком, демонстрирующим слабую тенденцию к увеличению в стрессовые годы (2021, 2022). Это явление может быть следствием адаптивной реакции растения на стресс. При угнетении верхушечного роста (уменьшение высоты и технической длины) и под воздействием высоких температур и ин-

соляции происходит более интенсивное развитие механических тканей и вторичное утолщение стебля для обеспечения устойчивости. Таким образом, сокращение линейного роста в некоторой степени компенсировалось увеличением диаметра, что является признаком ксероморфности.

Длина соцветий и число междоузлий проявили себя как высоковариабельные признаки, чутко реагирующие на условия года.

Длина соцветий минимальна в 2021 году (41 см), что напрямую связано с экстремальной летней засухой и жарой в период цветения и формирования генеративных органов. Растение в условиях стресса сокращало инвестиции в репродуктивные структуры. Напротив, в 2022 и особенно в 2023 годах, когда дефицит влаги был менее выраженным или отсутствовал, растения формировали более длинные и, вероятно, более продуктивные соцветия (49 и 50 см соответственно).

Число междоузлий снижалось в 2020 и 2022 годах (до 14). Это является типичной реакцией на водный и температурный стресс, приводящий к ускоренному онтогенезу. Растение быстрее проходит фазы развития, что приводит к сокращению количества закладываемых междоузлий и, как следствие, к уменьшению потенциальной урожайности. В благоприятном 2023 году было отмечено максимальное за весь период наблюдений число междоузлий (17), что указывает на полную реализацию генетической программы роста в условиях отсутствия лимитирующих факторов.

Таблица 2 – Динамика морфологических признаков конопли сорта Сейм
(Краснодар «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» 2020-2023 гг.)
Table 2 – Dynamics of morphological features of the Seym variety of hemp
(Krasnodar "P. P. Lukyanenko Research Center" 2020-2023)

Год / Year	Высота растений, см / Height of plants, cm	Техническая длина, см / Technical length, cm	Длина соцветий, см / Inflorescence length, cm	Диаметр стебля, мм / Stem diameter, mm	Число междоузлий / Number of interstices
база / base	281	235	46	9,8	16
2020	248	201	47	9,9	14
2021	272	231	41	10	16
2022	257	208	49	10,2	14
2023	290	240	50	10	17

Проведенный анализ показывает, что морфологические признаки популяции конопли сорта Сейм обладают высокой фенотипической пластичностью. Водный режим является ключевым фактором, определяющим ростовые процессы (высоту, техническую длину, число междоузлий). Температурный стресс и низкая влажность воздуха оказывают наибольшее влияние на развитие генеративных органов (длину соцветий). При этом такие признаки, как диаметр стебля, могут демонстрировать адаптивное усиление в неблагоприятных условиях. Наилучшее развитие всех без исключения морфометрических параметров в 2023 году подтверждает, что именно оптимальное сочетание температур и, в первую очередь, обеспеченность влагой позволяют полностью раскрыть продуктивный потенциал сорта.

Корреляционный анализ морфологических признаков и погодных условий.

Для количественной оценки силы и направленности влияния погодных факторов на морфогенез однодомной конопли сорта Сейм был проведен корреляционный анализ. Анализу подверглись средние за вегетационный сезон (апрель-август) значения морфометрических показателей и ключевых метеопараметров за период 2020-2023 гг., включая базовый показатель. Рассчитывался коэффициент линейной корреляции Пирсона (r), где значение ±0,7 и выше считалось признаком сильной связи, ±0,5 – ±0,7 – умеренной, а ±0,3 – ±0,5 – слабой.

1. Анализ влияния на вегетативный рост.

Результаты анализа выявили чрезвычайно сильную прямую зависимость линейного роста растений от количества осадков. Коэффициенты корреляции высоты и технической длины с суммарными осадками за сезон и, что особенно показательно, за критический период июнь-июль (r = +0,95 и +0,91 соответственно), являются статистически значимыми и доказывают, что водообеспеченность – лимитирующий фактор ростовых процессов у конопли в условиях Краснодарского края.

Выявленные корреляции полностью объясняют динамику этих признаков по годам. Низкорослость в засушливые 2020 и 2022 годы и рекордная высота в влажном 2023 году являются прямым следствием количества доступной влаги. Положительная корреляция с относительной влажностью воздуха (r = +0,78) дополнительно подтверждает роль общего гидротермического режима.

2. Анализ влияния на формирование стебля.

Диаметр стебля продемонстрировал умеренную отрицательную корреляцию с осадками (r = -0,65) и умеренную положительную корреляцию с температурой (r = +0,72). Это подтверждает гипотезу о том, что утолщение стебля является адаптивной реакцией на стресс.

В жарких и засушливых условиях (2021, 2022 гг.) растение перераспределяет ресурсы: верхушечный рост угнетается (снижение высоты), но при этом интенсифицируется развитие механических тканей для обеспечения устойчивости и, возможно, для поддержания проводящей системы при повышенной транспирации. Таким образом, увеличение диаметра стебля в данном контексте – это не признак мощности, а маркер ксероморфности, индуцированной стрессом.

3. Анализ влияния на репродуктивное развитие и ритмику.

Число междоузлий показало сильную прямую зависимость от осадков (r = +0,85) и обратную – от температуры. Это количественно доказывает, что водный дефицит и жара приводят к ускоренному онтогенезу. Растение быстрее проходит этапы развития, закладывая меньшее количество междоузлий, чтобы ускорить репродукцию в неблагоприятных условиях.

Длина соцветий проявила наименьшую, но устойчивую умеренную зависимость от условий увлажнения (r = +0,5). Это свидетельствует о том, что генеративная сфера также чувствительна к стрессу, но, возможно, в большей степени зависит от условий непосредственно в период цветения и от общего гормонального статуса растения, который сложнее описать простыми метеопараметрами.

Таблица 3 – Матрица коэффициентов корреляции (r) между морфологическими признаками и погодными условиями (Краснодар «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» 2020-2023 гг.)
Table 3 – Matrix of correlation coefficients (r) between morphological features and weather conditions (Krasnodar, P. P. Lukyanenko Research Center, 2020-2023)

Признак / Sign	Σ Осадков (IV-VIII) / Σ Precipitation (IV-VIII)	Средняя T° (IV-VIII) / Average T° (IV-VIII)	Относительная влажность (IV-VIII) / Relative humidity (IV-VIII)	Σ Осадков (VI-VII) / Σ Precipitation (VI-VII)	Средняя T° (VI-VII) / Average T° (VI-VII)
Высота растений / Height of plants	+0,92	-0,45	+0,78	+0,95	-0,62
Техническая длина / Technical length	+0,89	-0,41	+0,71	+0,91	-0,58
Диаметр стебля / Stem diameter	-0,68	+0,72	-0,61	-0,65	+0,75
Длина соцветий / Inflorescence length	+0,55	-0,35	+0,48	+0,51	-0,41
Число междоузлий / Number of interstices	+0,85	-0,52	+0,73	+0,82	-0,59

Примечание: *Σ Осадков (IV-VIII) – сумма осадков за период апрель-август; Средняя T° (IV-VIII) – средняя температура воздуха за период апрель-август; Относительная влажность (IV-VIII) – средняя относительная влажность воздуха за период апрель-август; Σ Осадков (VI-VII) – сумма осадков за июнь-июль;Средняя T° (VI-VII) – средняя температура воздуха за июнь-июль.*
Значения |r| ≥ 0,7 выделены жирным.
Note: *Σ Precipitation (IV-VIII) – the amount of precipitation for the period April-August; Average T° (IV-VIII) – the average air temperature for the period April-August; Rel. Humidity (IV-VIII) – the average relative humidity of the air for the period April-August; Σ Precipitation (VI-VII) – the amount of precipitation for June-July; Average T° (VI-VII) – the average air temperature for June-July. Values |r| ≥ 0.7 are highlighted in bold.*

4. Синтез данных и прогностическая модель формирования габитуса.

На основе корреляционного анализа можно выделить два сценария формирования морфологии сорта Сейм в зависимости от погодных условий:

1). Сценарий «Влагодефицита»: высокая температура + низкое количество осадков → сильное угнетение линейного роста (низкая высота и техническая длина) + ускоренное развитие (малое число междоузлий) + усиленное утолщение стебля. Итог: формирование низкорослых, более жестких растений с укороченным вегетационным периодом.

2). Сценарий «Влагообеспеченности»: умеренная температура + высокое количество осадков → интенсивный линейный рост (высокая высота и техническая длина) + нормальный ритм развития (нормальное число междоузлий) + стандартное утолщение стебля. Итог: формирование высокорослых, хорошо облиственных растений с полной реализацией генетического потенциала продуктивности.

Корреляционный анализ предоставил количественное подтверждение ключевой роли гидротермического режима в формировании морфологического облика популяции конопли сорта Сейм. Установлено, что признаки вегетативного роста и онтогенетического ритма в сильной степени зависят от водообеспеченности, в то время как диаметр стебля является пластичным признаком, усиливающимся в условиях температурного стресса и дефицита влаги. Полученные данные позволяют не только объяснить ретроспективную динамику, но и прогнозировать продуктивность и габитус посевов в зависимости от складывающихся погодных условий, что имеет большое значение для адаптивного растениеводства.

Выводы. 1. Установлена и количественно оценена ключевая роль гидротермического стресса как основного фактора, детерминирующего смещение полового состава однодомной популяции конопли сорта Сейм. За четыре года наблюдений на фоне серии засушливых и жарких вегетационных сезонов (2020-2022 гг.) доля мужских растений (поскони) в агроценозе увеличилась с исходных 4 % до 44 %, то есть в 11 раз. Это свидетельствует о крайней лабильности признака однодомности под воздействием абиотических стрессоров. Полученные данные убедительно доказывают, что в условиях возрастающих климатических рисков Юга России генетически детерминированная однодомность не является стабильным признаком и может существенно модифицироваться, что ставит под угрозу стабильность урожая и его качество.

2. Выявлены адаптивные и негативные сценарии морфогенеза конопли в зависимости от условий вегетации. На основе комплексного анализа морфометрических показателей и корреляционного анализа выделены два принципиально разных сценария формирования габитуса растений:

- сценарий «Влагодефицита» (2020-2022 гг.) характеризуется угнетением линейного роста (снижение высоты и технической длины на 10-15 %), ускоренным онтогенезом (сокращением числа междоузлий) и адаптивным утолщением стебля. Это приводит к формированию низкорослых, более жестких растений с сокращенным жизненным циклом, что является проявлением ксероморфности и ведет к значительному недобору урожая волокна.

- сценарий «Влагообеспеченности» (2023 г.) позволяет полностью реализовать генетический потенциал сорта, обеспечивая интенсивный линейный рост (максимальные значения высоты – 290 см и технической длины – 240 см), нормальный ритм развития и формирование мощных генеративных органов.

3. Количественно доказано, что водообеспеченность является лимитирующим фактором продуктивности конопли сорта Сейм в условиях Кубани. Корреляционный анализ выявил чрезвычайно сильную прямую зависимость высоты растений ($r = +0,95$) и технической длины стебля ($r = +0,91$) от суммы осадков в критический период июнь-июль. Это означает, что именно дефицит влаги в фазы активного стеблевания и цветения является главной причиной недобора урожая, а не высокие температуры сами по себе.

4. Установлено, что почвенные условия (выщелоченный деградированный чернозём) выступают мощным стресс-модифицирующим фактором, усугубляющим воздействие атмосферной засухи. Низкая влагоудерживающая способность и неблагоприятные физические свойства данной почвенной разности не позволяют растениям эффективно использовать даже ограниченные осадки, усиливая почвенную засуху и переводя умеренный атмосферный стресс в острый почвенно-атмосферный.

5. Разработаны практические рекомендации для системы земледелия региона. Для сохранения стабильности сортовых характеристик (однодомности) и достижения высокой продуктивности конопли сорта Сейм в условиях центральной зоны Краснодарского края необходима целенаправленная система агротехнических мероприятий, включающая:

- приоритетное внедрение регулируемого орошения в критические фазы развития (стеблевание-цветение) как основного приема, нивелирующего водный стресс.

- обязательное применение влагосберегающих технологий (минимальная обработка почвы, мульчирование, использование сидератов) для максимального сохранения почвенной влаги зимне-весенних осадков.

- рассмотрение возможности целенаправленного подбора предшественников, способствующих накоплению влаги в почве, и внесения органо-минеральных удобрений и мелиорантов, улучшающих структуру и влагоемкость деградированных черноземов.

Таким образом, проведенные исследования доказывают, что устойчивое и рентабельное возделывание однодомной конопли сорта Сейм в степной зоне Кубани возможно лишь при переходе к адаптивно-ландшафтной системе земледелия, центральным элементом которой является активное управление водным режимом агроценозов для минимизации негативного влияния учащающихся засух на половой состав и продуктивный потенциал культуры.

Conclusions. 1. The key role of hydrothermal stress as the main factor determining the shift in the sex composition of a monoecious population of the Seim hemp variety has been established and quantitatively assessed. Over four years of observations against the background of a series of dry and hot growing seasons (2020-2022), the proportion of male plants (pollen hemp) in the agrocenosis increased from the initial 4 % to 44 %, i.e., 11 times. This indicates the extreme lability of the monoecious trait under the influence of abiotic stressors. The obtained data convincingly prove that under conditions of increasing climatic risks in the South of Russia, genetically determined monoecious is not a stable trait and can be significantly modified, which threatens the stability of the yield and its quality.

2. Adaptive and negative scenarios of hemp morphogenesis depending on growing conditions were identified. Based on a comprehensive analysis of morphometric indicators and correlation analysis, two fundamentally different scenarios of plant habitus formation were identified:

- the "Moisture Deficit" scenario (2020-2022) is characterized by suppression of linear growth (a 10-15 % decrease in height and technical length), accelerated ontogeny (reduction in the number of internodes), and adaptive thickening of the stem. This leads to the formation of stunted, harder plants with a shortened life cycle, which is a manifestation of xeromorphism and leads to a significant shortfall in fiber yield.

- the "Moisture Availability" scenario (2023) allows for the full realization of the genetic potential of the variety, providing intensive linear growth (maximum values of height – 290 cm and technical length – 240 cm), a normal development rhythm, and the formation of powerful generative organs.

3. It has been quantitatively proven that water availability is the limiting factor for the productivity of the Seim hemp variety in the conditions of Kuban. Correlation analysis revealed an extremely strong direct dependence of plant height (r = +0,95) and technical stem length (r = +0,91) on the sum of precipitation in the critical period of June-July. This means that it is precisely the moisture deficit during the phases of active stem elongation and flowering that is the main cause of the yield shortfall, not high temperatures per se.

4. It has been established that soil conditions (leached degraded black-colored soils) act as a powerful stress-modifying factor, exacerbating the impact of atmospheric drought. The low water-holding capacity and unfavorable physical properties of this soil variety do not allow plants to effectively use even limited precipitation, intensifying soil drought and transforming moderate atmospheric stress into acute soil-atmospheric stress.

5. Practical recommendations for the regional farming system have been developed. To preserve the stability of varietal characteristics (monoecious) and achieve high productivity of the Seim hemp variety in the conditions of the Central Zone of Krasnodar Region, a targeted system of agricultural measures is necessary, including:

- priority introduction of regulated irrigation during critical development phases (stem elongation – flowering) as the main technique mitigating water stress.

- mandatory application of moisture-saving technologies (minimum tillage, mulching, use of green manure) to maximize the preservation of soil moisture from winter-spring precipitation.

- consideration of the possibility of targeted selection of predecessors that contribute to moisture accumulation in the soil, and application of organic-mineral fertilizers and ameliorants that improve the structure and moisture capacity of degraded black-colored soils.

Thus, the conducted research proves that sustainable and profitable cultivation of monoecious hemp of the Seim variety in the steppe zone of Kuban is possible only through a transition to an adaptive landscape farming system, the central element of which is the active management of the water regime of agrocenoses to minimize the negative impact of increasingly frequent droughts on the sex composition and productive potential of the crop.

Библиографический список

1. Жиренко М. М., Лях В. А. Однодомная конопля – перспективное направление селекции. Лён и конопля. 2018. № 2. С. 45-48

2. Сайко Н. В., Гринченко А. С. Техническая конопля в современном агропромышленном комплексе: биологические особенности и перспективы возделывания. Вестник аграрной науки. 2020. № 4 (85). С. 32-39.

3. Вировец В. Г., Баранник В. Г., Гилязетдинов Р. Н. и др. Конопля: монография. Сумы: ПВП «Изд. дом «Эллада», 2011.

4. Чиков В. И., Лебедева Е. В. Экологическая пластичность сортов технической конопли в условиях Среднего Поволжья. Аграрный научный журнал. 2019. № 7. С. 21-26.

5. Faux A.-M., Draye X., Lambert R., D Andrimont R., Raulier P., Bertin P. Water stress impacts on sex determination in monoecious hemp (Cannabis sativa L.). Environmental and Experimental Botany. 2013. Vol. 92. Pp. 64-71.

6. Galoch E. The hormonal control of sex differentiation in dioecious plants of hemp (Cannabis sativa L.). Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 1978. Vol 47. Pp. 135-142.

7. Zhang Q., Chen X., Guo H., Trindade L. M., Salentijn E. M. J., Guo R., Guo. Y., Xu Y., Yang M. Latitudinal Adaptation and Genetic Insights Into the Origins of Cannabis sativa L. Frontiers in Plant Science. 2018. V. 9. Art. 1876.

8. Hesami M., Pepe M., Alizadeh M., Rakei A., Baiton A., Phineas Jones A. M. Recent advances in cannabis biotechnology. Industrial Crops and Products. 2020. V. 158. Art. 113026.

9. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. Москва, 2025. 135 с.

10. Шкурате В. И., Адаменко Т. И. Изменение климата и его влияние на агроклиматические ресурсы Краснодарского края. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 3. С. 40-45.

11. Казаков Н. А., Белобров В. П. Деградационные процессы в чернозёмах Кубани и пути их предотвращения. Почвоведение. 2019. № 5. С. 589-598.

12. Amaducci S., Scordia D., Liu F. H., Zhang Q., Guo H., Testa G., Cosentino S. L. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. Industrial Crops and Products. 2015. V. 68. Pp. 2-16.

13. Tang K., Struik P. C., Yin X., Thouminot C., Bjelková M., Stramkale V. Amaducci S. Comparing hemp (Cannabis sativa L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. Industrial Crops and Products. 2016. V. 87. Pp. 33-44.

14. Liu B., Wang X., Yang J., Wang S., Li S., Zhao W. Morphological and physiological responses of hemp (Cannabis sativa L.) to drought and salinity stresses. Industrial Crops and Products. 2021. V. 167. Art. 113516.

15. Лях В. А., Жиренко М. М. Методика полевого опыта с коноплёй. М.: «Росинформагротех», 2017. 65 с.

16. Мелешко Д. А., Ковтуненко В. Я., Фирсова Н. С. Трансформация осенне-зимне-весеннего увлажнения в центральной зоне Краснодарского края (2015-2025 гг.) и ее агроклиматические последствия. Актуальные вопросы развития науки и современного общества: материалы III Международной научно-практической конференции. МЦНС «Наука и просвещение», 2026. С. 40.

References

1. Zhirenko M. M., Lyakh V. A. Monoecious Hemp – a Promising Direction of Breeding. Flax and Hemp. 2018. No 2. Pp. 45-48.

2. Saiko N. V., Grinchenko A. S. Technical Hemp in the Modern Agro-Industrial Complex: Biological Features and Cultivation Prospects. Bulletin of Agrarian Science. 2020. No 4 (85). Pp. 32-39.

3. Virovets V. G., Barannik V. G., Gilyazetdinov R. N., et al. Hemp: monograph. Sumy: PVP "Publ. House "Hellas", 2011.

4. Chikov V. I., Lebedeva E. V. Ecological plasticity of varieties of technical hemp in the conditions of the Middle Volga region. Agrarian scientific journal. 2019. No 7. Pp. 21-26.

5. Faux A.-M., Draye X., Lambert R., D Andrimont R., Raulier P., Bertin P. Water stress impacts on sex determination in monoecious hemp (Cannabis sativa L.). Environmental and Experimental Botany. 2013. V. 92. Pp. 64-71.

6. Galoch E. The hormonal control of sex differentiation in dioecious plants of hemp (Cannabis sativa L.). Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 1978. V. 47. Pp. 135-142.

7. Zhang Q., Chen X., Guo H., Trindade L. M., Salentijn E. M. J., Guo R., Guo. Y., Xu Y., Yang M. Latitudinal Adaptation and Genetic Insights Into the Origins of Cannabis sativa L. Frontiers in Plant Science. 2018. V. 9. Art. 1876.

8. Hesami M., Pepe M., Alizadeh M., Rakei A., Baiton A., Phineas Jones A. M. Recent advances in cannabis biotechnology. Industrial Crops and Products. 2020. V. 158. Art. 113026.

9. Report on the Climate Features in the Russian Federation for 2024. Moscow, 2025. 135 p.

10. Shkurate V. I., Adamenko T. I. Climate Change and Its Impact on the Agroclimatic Resources of the Krasnodar Territory. Melioration and Water Management. 2022. No 3. Pp. 40-45.

11. Kazakov H. A., Belobrov V. P. Degradation processes in the Kuban black-colored soils and ways to prevent them. Soil Science. 2019. No 5. Pp. 589-598.

12. Amaducci S., Scordia D., Liu F. H., Zhang Q., Guo H., Testa G., Cosentino S. L. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. Industrial Crops and Products. 2015. V. 68. Pp. 2-16.

13. Tang K., Struik P. C., Yin X., Thouminot C., Bjelková M., Stramkale V. Amaducci S. Comparing hemp (Cannabis sativa L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. Industrial Crops and Products. 2016. V. 87. Pp. 33-44.

14. Liu B., Wang X., Yang J., Wang S., Li S., Zhao W. Morphological and physiological responses of hemp (Cannabis sativa L.) to drought and salinity stresses. Industrial Crops and Products. 2021. V. 167. Art. 113516.

15. Lyakh V. A., Zhirenko M. M. Methodology of field experience with hemp. M.: Rosinformagrotekh, 2017. 65 p.

16. Meleshko D. A., Kovtunenko V. Ya., Firsova N. S. Transformation of autumn-winter-spring humidification in the central zone of the Krasnodar Territory (2015-2025) and its agroclimatic consequences. Actual Issues of Science and Modern Society Development: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. MCNC "Science and Education", 2026. P. 40.

Информация об авторах

Ковтуненко Виктор Яковлевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» (Российская Федерация, 350012, г. Краснодар, ул. Лукьяненко, 38), e-mail: xleborob123@yandex.ru

Мелешко Дмитрий Александрович, научный сотрудник, ФГБНУ «НЦЗ им. П. П. Лукьяненко» (Российская Федерация, 350012, г. Краснодар, ул. Лукьяненко, 38), e-mail: mda@kniish.ru

Authors' Information
Kovtunenko Viktor Yakovlevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko (Russian Federation, 350012, Krasnodar, Lukyanenko Street, 38), e-mail: xleborob123@yandex.ru
Meleshko Dmitry Aleksandrovich, Laboratory Researcher, National Center of Grain named after P. P. Lukyanenko (Russian Federation, 350012, Krasnodar, Lukyanenko Street, 38), e-mail: mda@kniish.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-07

THE CANALS COMBINED WATER SUPPLY SCHEME TO INCREASE LAND RECLAMATION SYSTEMS WATER AVAILABILITY

[1]Kuznetsov E. V., [2]Bocharnicova O. V., [1]Khadzhidi A. E., [3]Kravchenko L. V.

[1]Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[3]Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kuznecov.e@kubsau.ru. olesya.bocharnikova@mail.ru. dtn-khanna@yandex.ru, lkravchenko@donstu.ru

Received 04.02.2026 Submitted 30.04.2026

Abstract

Introduction. Existing linear water supply systems from main canals to drainage systems and outdated irrigation equipment, used since the 1970s, are unable to cover the resulting water shortfall. **Materials and methods.** The object of the study is a combined scheme for supplying additional water through the Novokubansky main and supply modes located in the Novokubansky and Gulkevichsky districts of the Krasnodar Territory. To develop the combined scheme, engineering surveys were conducted and the water levels of the source and main channel were studied. **Results and discussion.** A combined scheme with gravity-flow water intakes for additional water flow into the middle section of the main Novokubansky Canal with the installation of a retaining structure has been developed. A water intake structure with a pumping station on the Kuban River is being installed on the new feeder canal, and at the end of the canal, a sluice-regulator is being installed to control the water flow into the main Novokubansky Canal. **Conclusions.** The problem of water shortages in drainage systems can be solved by modernizing outdated linear schemes of main canals. Using the example of the Gulkevichi district reclamation system, replacing a linear scheme with gravity water intake with a combined scheme for additional water supply to the Novokubansky main canal increases the water availability of the reclamation system by up to 30 %, ensures uninterrupted flow, and creates conditions for the sustainable development of the reclamation system.

Keywords: *land reclamation systems, water supply schemes, linear water supply schemes, combined water supply schemes, irrigation canals.*

Citation. Kuznetsov E. V., Bocharnicova O. V., Khadzhidi A. E., Kravchenko L. V. The canals combined water supply scheme to increase land reclamation systems water availability. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 72-79 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-07.
Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.
Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 626.82+631.67

КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА ПОДАЧИ ВОДЫ ИЗ КАНАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

[1]Кузнецов Е. В., *доктор технических наук, профессор*
[2]Бочарникова О. В., *доктор технических наук, доцент*
[1]Хаджиди А. Е., *доктор технических наук, доцент*
[3]Кравченко Л. В., *доктор технических наук, доцент*

[1]ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина
г. Краснодар, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. Существующие линейные схемы подачи воды из магистральных каналов на мелиоративные системы и устаревшая поливная техника, применяющаяся с 1970 годов прошлого столетия, не покрывают образовавшийся дефицит водопотребления. **Материалы и методы.** Объект исследования – комбинированная схема подачи дополнительного расхода воды магистральным Но-

вокубанским и подающим каналами, расположенными на территории Новокубанского и Гулькевичского района Краснодарского края. Для разработки комбинированной схемы выполнены инженерные изыскания, исследованы режимы уровней источника и магистральных каналов. **Результаты и обсуждение.** Разработана комбинированная схема с самотёчными водозаборами дополнительного расхода воды в среднюю часть магистрального Новокубанского канала с устройством подпорного сооружения. На новом подающем канале устраивается водозаборное сооружение с насосной станцией на реке Кубань, а в конце канала – шлюз-регулятор для управления расходом воды в магистральный Новокубанский канал. **Выводы.** Решение проблемы дефицита воды на мелиоративных системах возможно модернизацией устаревших линейных схем магистральных каналов. На примере мелиоративной системы Гулькевичского района замена линейной схемы с самотёчным водозабором комбинированной схемой с дополнительной подачей воды в магистральный Новокубанский канал повышает водообеспеченность мелиоративной системы до 30 %, обеспечивается бесперебойная подача расхода, создаются условия для устойчивого развития мелиоративной системы.

Ключевые слова: *мелиоративные системы, схемы подачи воды, линейная схема подачи воды, комбинированные схемы подачи воды, оросительные каналы.*

Цитирование. Кузнецов Е. В., Бочарникова О. В., Хаджиди А. Е., Кравченко Л. В. Комбинированная схема подачи воды из каналов для повышения водообеспеченности мелиоративных систем. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 72-79. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-07.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Изменение климата на планете, связанное с повышением среднегодовой температуры воздуха, отразилось на природно-климатических условиях юга Российской Федерации. Перераспределение среднегодового количества осадков в сторону существенного уменьшения в весенне-летний период, который является вегетационным для яровых сельскохозяйственных культур, обусловило дефицит водных ресурсов во время оросительного периода [1, 2]. Степные реки, магистральные каналы, из которых забирается вода для орошения, в летний период пересыхают и мелеют [3, 4]. Существующие линейные схемы подачи воды из магистральных каналов на мелиоративные системы и устаревшая поливная техника, применяющаяся с 1970 годов прошлого столетия, не покрывают образовавшийся дефицит водопотребления. Недостатком линейных схем является: низкий коэффициент использования земли, дефицитная водообеспеченность большие потери воды из-за большой протяженности русла канала; заиление самотёчных водозаборных сооружений, что приводит к снижению эффективности эксплуатации мелиоративных систем и рентабельности сельскохозяйственного производства [5, 6, 7].

На мелиоративные системы значительное влияние оказывает неравномерность и дефицит стока источников по периодам года [8]. Водность источников в межень значительно снижается, что видно на графике среднегодового стока воды в реке Кубань (гидропост, г. Армавир), который распределяется крайне неравномерно (рисунок 1).

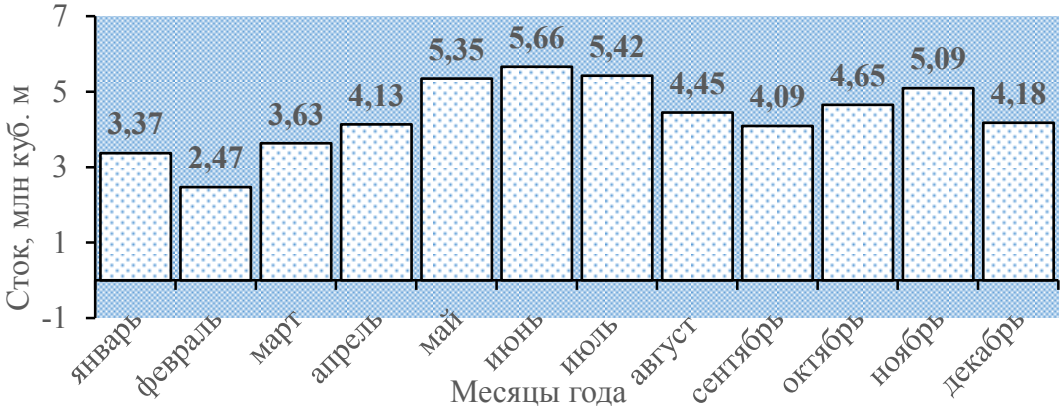


Рисунок 1 – Среднегодовое распределение стока
Figure 1 – Average annual runoff distribution

Увеличение ввода площадей мелиоративных систем при дефиците стока возможно после выполнения мероприятий, направленных на повышение водообеспеченности [9, 10]. Расчистка и уширение русел увеличивают водность рек и каналов [11]. Строительство под-

порных сооружений на каналах повышают уровень до расчетных значений, но данное мероприятие эффективно лишь только тогда, когда канал обеспечивается постоянным расходом источника в головной части канала. Снизить дефицит стока на магистральных каналах мелиоративных систем, устроенных вдоль водотока, возможно за счет модернизации схемы питания каналов [12, 13]. К таким каналам бассейна реки Кубань Краснодарского края относятся магистральные каналы, построенные по «линейной схеме» с самотёчными водозаборами – это Новокубанский, Лабинский, Константиновский и др. (таблица 1).

Таблица 1 – Магистральные мелиоративные каналы бассейна реки Кубани
Table 1 – Main reclamation channels of the Kuban River basin

Наименование канала / Canal name	Год ввода в эксплуатацию / Year of commissioning	Протяженность канала, км / Length of the canal, km	Пропускная способность, $м^3/с$ / Throughput, m^3/s
1. Новокубанский / Novokubanskii	1954	72	11,5
2. Лабинский / Labinskii	1932	30	5,0
3. Константиновский / Konstantinovskii	1932	19	16,0
4. Супе-Шебекский / Supe-Shebekskii	1964	7	45,0
5. Крюковский соединительный / Kryukovskii soedinitelnii	1972	22	75,0
6. Варнавинский сбросной / Varnavinskii sbrosnoi	1971	31,7	180,0

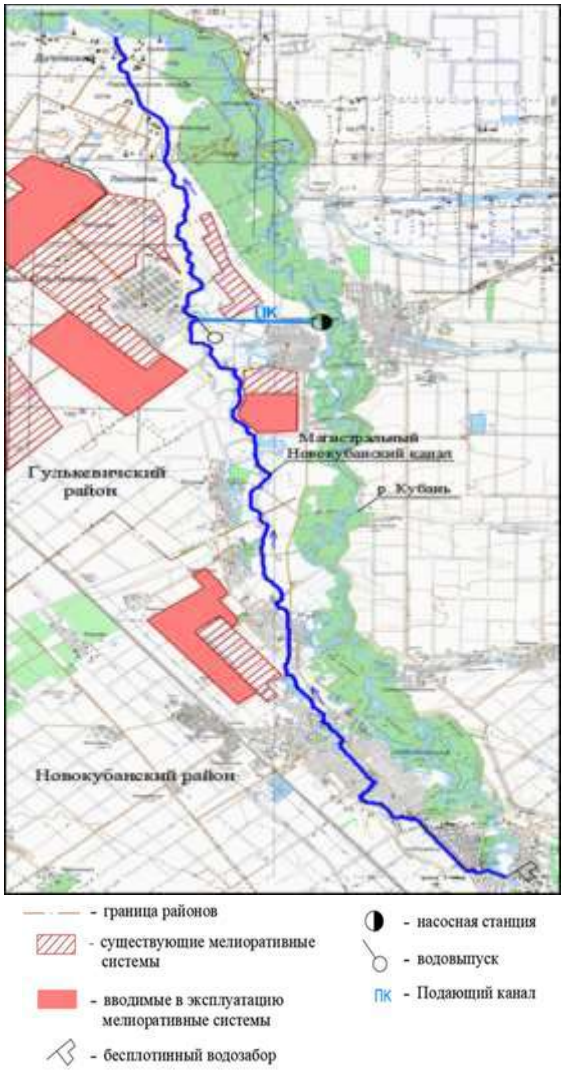


Рисунок 2 – Линейная схема магистрального Новокубанского канала с мелиоративными системами
Figure 2 – Linear diagram of the main Novokubansky Canal with drainage systems

По изучаемой территории Новокубанского и Гулькевичского районов проходит магистральный Новокубанский канал (МНК), линейная трасса которого проходит вдоль реки Кубань на протяжении 72 км и в районе г. Кропоткин снова соединяется с рекой (рисунок 2).

Канал МНК построен в 1954 г. с целью мелиорации и находится в удовлетворительном состоянии; гидротехнические сооружения (ГТС) по трассе канала нуждаются в реконструкции. МНК предназначен для эксплуатации мелиоративных систем Новокубанского и Гулькевичского районов Краснодарского края. В 2026-2027 гг. планируется ввести в эксплуатацию около 8 тыс. га новых орошаемых земель в Гулькевичском районе. Магистральный Новокубанский канал рассчитан на максимальный расход 11,5 м^3/с, который поступает на мелиоративные системы. В период межени из-за низких уровней реки Кубань расход в МНК снижается до 3-5 м^3/с [14]. Проектная площадь орошаемых земель в Новокубанском и Гулькевичском районах составляет 8319 га. Из-за дефицита воды с 2022 года площадь орошаемых земель сократилась до 3312 га. Плановый объём забора воды из реки Кубань на мелиоративные системы равен 15,51 млн м^3, фактические же объёмы забора воды составили 7,34; 6,21; и 5,87 млн м^3 в 2022, 2023, 2024 годах соответственно (годовые отчеты ФГБУ «Управление «Кубаньмелиоводхоз» 2022-2024 гг.). Самотёчный водозабор в голове МНК не обеспечивает расчетную подачу воды на мелиоративные системы.

Поэтому целью исследования является исследование комбинированной схемы подачи дополнительного расхода воды в магистральный Новокубанский канал с самотёчными водозаборами, с разработкой подающего канала (ПК), что позволит повысить водообеспеченность мелиоративных систем Гулькевичского района Краснодарского края в меженный период.

Материалы и методы. Для разработки комбинированной схемы были выполнены гидравлические расчеты по истечению воды из регулирующего подпорного сооружения № 2, устроенного в конце подающего канала ПК, которые показали, что для пропуска проектного расхода из ПК в МНК достаточно двух железобетонных труб диаметром 1,2 м. Для расчета пропускной способности подпорного сооружения № 3 были проведены натурные исследования гидравлических характеристик уровенного режима МНК на гидрометрических постах, которые располагались до и после сооружения № 3 на расстоянии 30 метров. Получены кривые зависимости расходов от уровней *Q=f(H)* (рисунки 3 и 4).

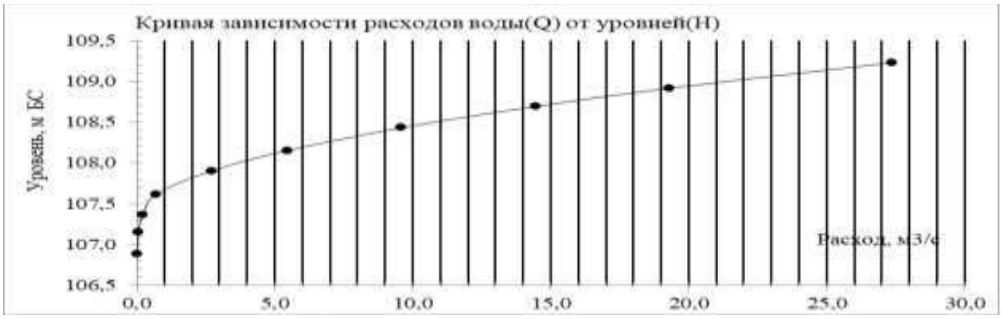


Рисунок 3 – График связи расхода с уровнями в МНК *Q=f(H)* в створе до сооружения № 3
Figure 3 – graph of the relationship between flow rate and levels in the MNC Q=f(H) in the section up to structure No. 3

Результаты *Q=f(H)* для створа после сооружения № 3 даны на рисунке 5.

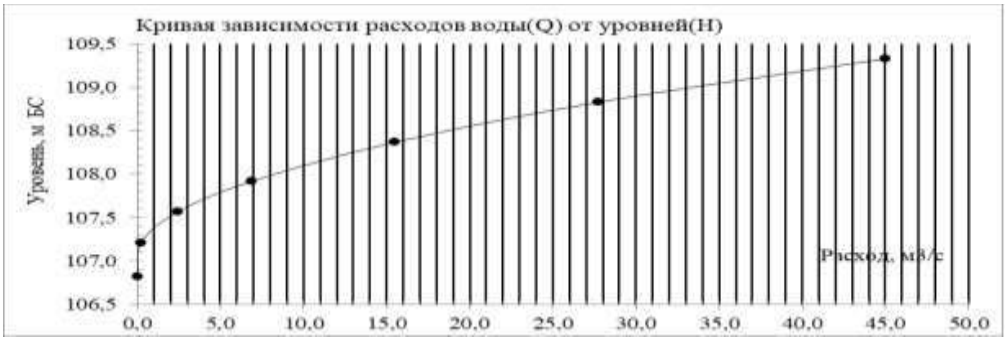


Рисунок 4 – График связи расхода с уровнями в НК *Q=f(H)* в створе после сооружения № 3
Figure 4 – graph of the relationship between flow rate and levels in the NK Q=f(H) in the section after structure No. 3

По результатам исследования определялся перепад уровней до и после сооружения № 3, который по формуле истечения жидкости из «коротких» трубопроводов обосновал количество и размер труб. Для пропуска необходимого расхода 11,5 м^3/с через сооружение № 3 на МНК необходимо устроить три железобетонные трубы каждая диаметром 1,2 м.

Результаты и обсуждение. Площадь мелиоративной системы Гулькевичского района превышает площадь мелиоративных систем Новокубанского района в два раза, поливной воды не хватает. На рисунке 5 представлена существующая линейная схема подачи воды из магистрального Новокубанского канала на орошение земель Новокубанского и Гулькевичского районов.

Рисунок 5 – Линейная схема подачи воды из магистрального Новокубанского канала на орошение земель Новокубанского и Гулькевичского районов
Figure 5 – Linear diagram of water supply from the main Novokubansky Canal for irrigation of lands in the Novokubanskyand Gulkevichsky districts

Сущность комбинированной схемы с дополнительной водоподачей в среднюю часть МНК у с. Отрадо-Ольгинское, где устроено подпорное сооружение ГТС (рисунок 6), состоит в разработке нового подающего канала (ПК), который берет начало от реки Кубань и подает воду в магистральный Новокубанский канал, при этом для управления расходом воды из подающего канала в МНК предусмотрен шлюз-регулятор. Трасса ПК обоснована маршрутным обследованием и инженерно-геодезическими изысканиями, начинается от с. Новомихайловского и заканчивается у с. Отрадо-Ольгинское (рисунок 7).

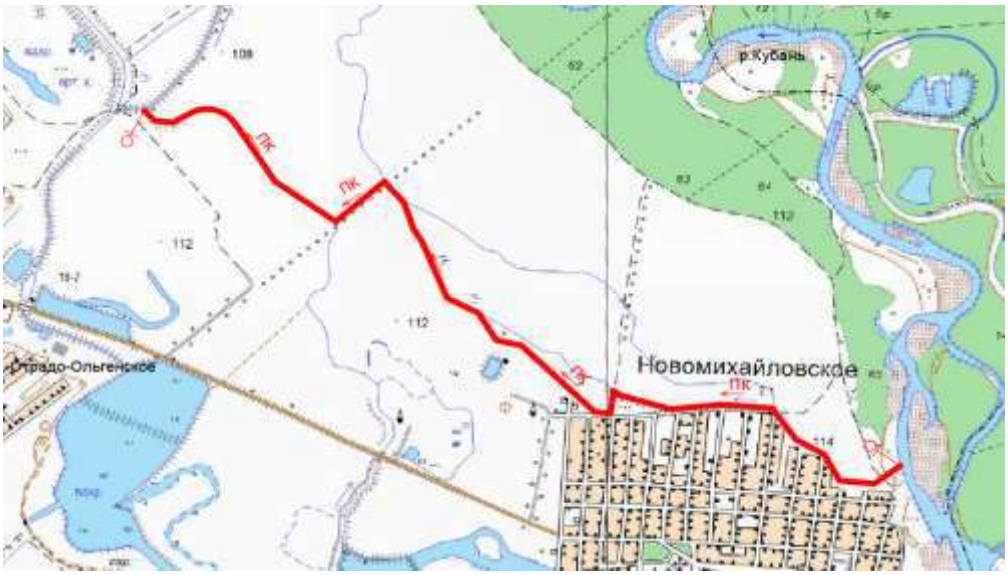


Рисунок 6 – Трасса для подачи дополнительного расхода подающим каналом из реки Кубань на мелиоративные системы Гулькевичского района
Figure 6 – Route for supplying additional water through the feeder channel from the Kuban River to the drainage systems of the Gulkevichi District

Определена длина трассы канала ПК, равная 5,44 км. Отметки поверхности земли в голове подающего канала выше отметок в месте устройства шлюза-регулятора ГТС (место сопряжения ПК и МНК) на 3,5-4,0 м, чем обеспечивается самотёчная подачи дополнительного расхода воды. Место сопряжения каналов установлено из следующих соображений: трубчатый переезд-регулятор оборудуется гидротехническими затворами для управления уровнями и расходами и находится практически в средней части МНК, чем обеспечивается поддержание оросительной способности МНК, где сосредоточены основные площади мелиоративных систем; ПК начинается от р. Кубань у села Новомихайловское, проходит по границе северной части села, полей, границам сельскохозяйственных угодий и заканчивается в месте сопряжения каналов у трубчатого шлюза-регулятора на МНК.

Трасса подающего канала ПК проложена с учетом рельефа агроландшафта местности и сложившихся природных условий; проходит по кратчайшему расстоянию от с. Новомихайловское до трубчатого регулятора-переезда и по границам полей; использует рельеф местности; канал обустроен таким образом, что наносит минимальный ущерб окружающей среде и обеспечивает сохранение агроресурсного потенциала прилегающих к каналу агроландшафтов. Рельеф местности по трассе канала ПК имеет уклон в сторону МНК от реки Кубань. Такой подход трассировки канала обеспечивает понижение уровня грунтовой воды во время избытка влаги на полях, а во время межени (засухи) повышает влажность почвы прилегающих к каналу агроландшафтов.

На рисунке 7 представлена комбинированная схема водоподачи на мелиоративные системы Новокубанского и Гулькевичского районов с разработкой подающего канала.

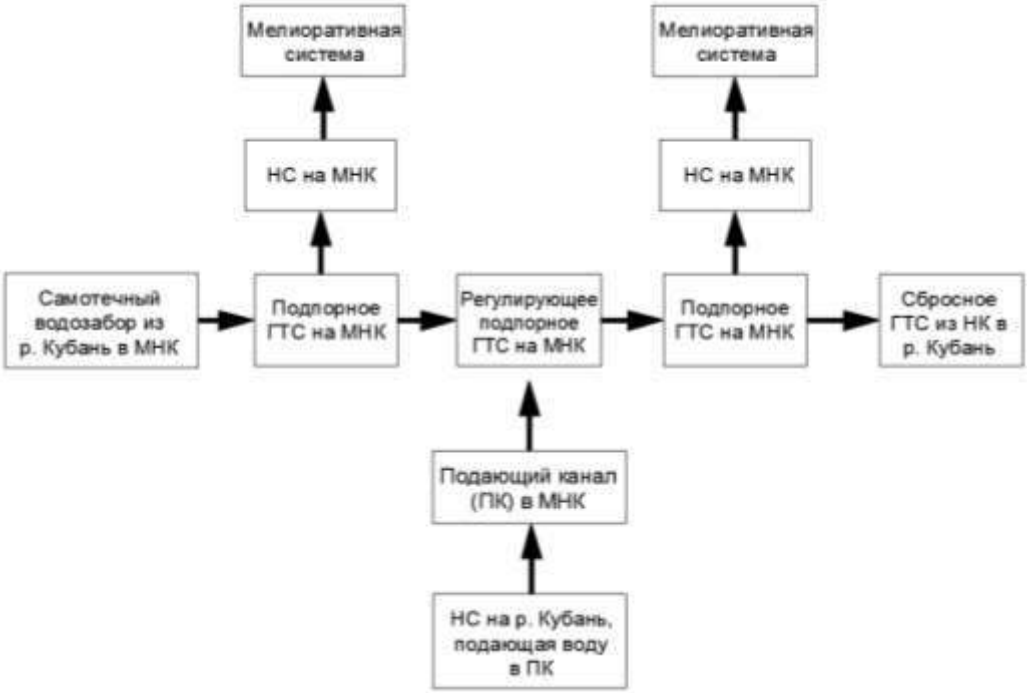


Рисунок 7 – Комбинированная схема водоподачи на мелиоративные системы
Figure 7 – combined scheme of water supply to drainage systems

Расход воды в канале ПК рассчитывается исходя из средневзвешенной поливной нормы, равной 3600 м^3/га, для мелиоративной системы Гулькевичского района и с учетом площади расширения до 8319 га.

Гидравлический расчет подающего канала выполнен по формуле Шези и установлены его параметры: глубина – 2,5 м, ширина по дну – 1,0 м, заложение откосов – 1,5. Грунты по трассе канала тяжёлые суглинки. Пропускная способность 6,5 м^3/с. Сечение канала проверено на размывающую и незаиляющую скорость.

Разработанная комбинированная схема дополнительной водоподачи из реки Кубань в среднюю часть МНК снижает противоречия между природными и техногенными компонентами, создавая условия эффективного применения ресурсосберегающих адап-

тивных технологий для достижения поставленной цели – обеспечить устойчивое развитие агроландшафта путем повышения агроресурсного потенциала, улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель и водных объектов, как единого целого земельно-охранной системы. При этом обеспечивается устойчивое развитие сельскохозяйственного мелиоративного комплекса. Из этого следует, что при дефиците водных ресурсов новая схема водоподачи дополнительного расхода из реки Кубань в МНК должна обеспечивать питание водой в требуемом объёме мелиоративные системы Гулькевичского района.

Заключение. Приводится решение проблемы дефицита воды на мелиоративных системах, построенных в 1970 годах прошлого столетия, модернизацией протяженных линейных схем магистральных каналов.

На примере мелиоративной системы Гулькевичского района замена линейной схемы с самотёчным водозабором комбинированной схемой с дополнительной подачей воды в магистральный Новокубанский канал повышает водообеспеченность мелиоративной системы до 30 %, обеспечивается бесперебойная подача расхода, создаются условия расширения и устойчивого развития мелиоративной системы до 50 % и прилегающих агроландшафтов.

Модернизация схемы подачи дополнительного расхода повышения водообеспеченности каналов была разработана с учётом системного подхода к изменившемся компонентам природной среды и техногенным условиям мелиоративных систем: дефицита водных ресурсов; температурных режимов; протяженности магистральных каналов; размеров полей; режимов орошения и техники полива.

Conclusions. The problem of water shortages in drainage systems built in the 1970s solution is presented through the modernization of extensive linear canal systems.

Using the example of the drainage system of the Gulkevichi district, replacing the linear scheme with a gravity water intake with a combined scheme with additional water supply to the main the Novokuban Canal increases the water supply of the drainage system by up to 30 %, ensures uninterrupted flow, and creates conditions for the expansion and sustainable development of the drainage system by up to 50 % and adjacent agricultural landscapes.

The modernization of the scheme for supplying additional flow to increase the water supply of canals was developed taking into account a systematic approach to the changed components of the natural environment and the manmade conditions of drainage systems: water resource shortages; temperature conditions; length of main canals; field sizes; irrigation regimes and watering techniques.

Библиографический список

1. Vasilenko V. A. Agriculture in Crimea during water shortage. Journal of Agriculture and Environment. 2020. No 4 (16). Pp. 1-5.

2. Шевченко В. А., Исаева С. Д., Дедова Э. Д. Проблемы мелиоративно-водохозяйственного комплекса Нижнего Дона в текущих климатических условиях. Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 12. С. 1145-1150.

3. Ляшков М. А., Домашенко Ю. Е. Оптимизация экологически безопасного водопользования на мелиоративных системах в условиях дефицита водных ресурсов. Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 11. С. 42-47.

4. Солодунов А. А., Бандурин М. А., Сидаков А. А. Поиск вариантов изменения эксплуатации Краснодарского водохранилища, учитывая возрастающий дефицит водных ресурсов в бассейне реки Кубани. International Agricultural Journal. 2021. Т. 64. № 1. С. 10.

5. Кузьмичёв А. А., Рыжаков А. Н., Мартынов Д. В. Анализ дефицита водных ресурсов и использования мелиорированных земель в Южном федеральном округе. Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 3. С. 19-35. http:www.rosniipm-sm.ru/article?n=1212

6. Шевченко В. А. и др. Оценка состояния производственных участков рисовых оросительных систем мелиоративного комплекса Нижней Кубани. Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 5. С. 32-38.

7. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Бочарникова О. В. Регулирование водного и пищевого режимов почвы при капельном орошении в условиях Волгоградской области. Плодородие. 2012. № 3 (66). С. 35-36.

8. Сметанин В. И. Очистка и дноуглубление русел рек. Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 4. С. 12-17.

9. Малышева Н. Н. и др. Анализ и векторы развития отрасли рисоводства. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 1-25.

10. Приходько И. А., Бандурин М. А., Молчанова Г. А. Пути совершенствования технологии возделывания риса на рисовых оросительных системах Краснодарского края в условиях дефицита водных ресурсов и техногенных угроз. International Agricultural Journal. 2025. Т. 68. № 4. С. 1012-1030.

11. Волосухин В. А. и др. Пути повышения эффективности эксплуатационных характеристик водохозяйственного комплекса нижней Кубани. Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 1 (391). С. 27-32.

12. Бучельников М. А., Кофеева В. Н. Методические подходы к оценке экологического воздействия на реки при эксплуатации внутренних водных путей. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2023. № 3. С. 50-53.

13. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 1-23. http:www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192

14. Хаджиди А. Е., Новиков А. Е., Буханив И. К вопросу повышения водообеспеченности Верхнекубанской оросительной системы Краснодарского края. Природообустройство. 2024. № 1. С. 6-11.

References

1. Vasilenko V. A. Agriculture in Crimea during water shortage. Journal of Agriculture and Environment. 2020. No 4 (16). Pp. 1-5.
2. Shevchenko V. A., Isaeva S. D., Dedova E. D. Problems of the Lower Don Land Reclamation and Water Management Complex in the Current Climate Conditions. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. Vol. 93. No 12. Pp. 1145-1150.
3. Lyashkov M. A., Domashenko Yu. E. Optimization of Ecologically Safe Water Use in Land Reclamation Systems in the Context of Water Resource Scarcity. Ecology and Industry of Russia. 2021. Vol. 25. No 11. Pp. 42-47.
4. Solodunov A. A., Bandurin M. A., Sidakov A. A. Searching for options to change the operation of the Krasnodar Reservoir, taking into account the increasing shortage of water resources in the Kuban River basin. International Agricultural Journal. 2021. Vol. 64. No 1. P. 10.
5. Kuzmichev A. A., Ryzhakov A. N., Martynov D. V. Analysis of water resources deficit and use of reclaimed lands in the Southern Federal District. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2021. V. 11. No 3. Pp. 19-35. http:www.rosniipm-sm.ru/article?n=1212
6. Shevchenko V. A. et al. Assessment of the state of production sites of rice irrigation systems of the Lower Kuban reclamation complex. Land Reclamation and Water Management. 2023. No 5. Pp. 32-38.
7. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V. Regulation of water and food regimes of the soil under drip irrigation in the conditions of the Volgograd region. Fertility. 2012. No 3 (66). Pp. 35-36.
8. Smetanin V. I. Cleaning and deepening of riverbeds. Land reclamation and water management. 2022. No 4. Pp. 12-17.
9. Malysheva N. N. et al. Analysis and development vectors of the rice industry. Land reclamation and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13. No 4. Pp. 1-25.
10. Prikhodko I. A., Bandurin M. A., Molchanova G. A. Ways to Improve the Technology of Rice Cultivation in the Rice Irrigation Systems of the Krasnodar Territory in the Context of Water Resource Scarcity and Man-Made Threats. International Agricultural Journal. 2025. V. 68. No 4. Pp. 1012-1030.
11. Volosukhin V. A. et al. Ways to improve the efficiency of operational characteristics of the water management complex of the lower Kuban. International Agricultural Journal. 2023. No 1 (391). Pp. 27-32.
12. Butchelnikov M. A., Kofeeva V. N. Methodological approaches to assessing the environmental impact on rivers during the operation of inland waterways. Scientific problems of transport in Siberia and the Far East. 2023. No 3. Pp. 50-53.
13. 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. Vol. 11. No 2. Pp. 1–23. http:www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192
14. Khadzhidi A. E., Novikov A. E., and Bukhanyiv I. On the Issue of Increasing the Water Supply of the Upper Kuban Irrigation System in the Krasnodar Territory. Environmental management. 2024. No 1. Pp. 6-11.

Информация об авторах

Кузнецов Евгений Владимирович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), e-mail: kuznecov.e@kubsau.ru

Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru.

Хаджиди Анна Евгеньевна, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), e-mail: dtn-khanna@yandex.ru.

Кравченко Людмила Владимировна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), e-mail: lkravchenko@donstu.ru

Authors' Information

Kuznetsov Evgeniy Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after. I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: kuznecov.e@kubsau.ru.

Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru.

Khadzhidi Anna Evgenievna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: dtn-khanna@yandex.ru.

Kravchenko Lyudmila Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Don State Technical University (Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), e-mail: lkravchenko@donstu.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-08

THE MUSTARD CULTIVATION EFFICIENCY OPTIMIZATION IN THE VOLGOGRAD REGION STEPPE LANDSCAPES

Misyuryaev V. Yu., Tkachenko Z. A.

Volgograd State Agricultural University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: att-lab@mail.ru, tkacenkozahar98@gmail.com

Received 25.03.2026 Submitted 15.05.2026

Abstract

Introduction. This article presents the results of research to improve mustard cultivation techniques on light-brown soils in the Volgograd Region. The study identified optimal soil tillage practices, seeding rates, and mineral fertilizers to increase mustard seed yield and quality in the region's arid continental climate.

With deep plowing, good moisture supply, snow retention, and artificial irrigation, light-brown soils can produce good crop yields. Systematic agrochemical and agronomic management are necessary to maintain and enhance fertility. The fertilization system should include both mineral and organic fertilizers, with the mandatory use of micronutrients. The findings will help develop recommendations for mustard cultivation to improve economic returns and production stability. **Object of the study:** steppe agricultural landscapes of the Volgograd region. **Materials and Methods.** The research was conducted over three growing seasons at the Privet Agricultural Complex in the Svetloyarsky District of the Volgograd Region. The study focused on domestic varieties of mustard. Various options for soil cultivation (ploughing, flat-cut cultivation, and zero cultivation), seeding rates (from 3 to 5 kg/ha), and norm of mineral fertilizers (N, P, and K in various ratios) were studied. The developed recommendations can be used by agricultural enterprises in the Volgograd region to optimize the production of mustard. **Results and conclusions.** The results of a three-year study demonstrated a significant impact of various tillage methods on mustard seed yield. Traditional plowing yielded the highest yield, but this figure was only slightly higher than with subsurface tillage. Optimizing mustard cultivation efficiency will improve production profitability, increase oilseed production, and strengthen food security in the region.

Keywords: *mustard, mustard cultivation technologies, mustard cultivation soil conditions, soil cultivation methods, mustard seeding rates, mustard yield, mustard seed quality.*

Citation. Misyuryaev V. Yu., Tkachenko Z. A. The mustard cultivation efficiency optimization in the Volgograd region steppe landscapes. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 79-84 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-08.
Authors' contributions. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this article have reviewed and approved the final version.
Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

УДК 633.853.483:631.5:631.445.51

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ГОРЧИЦЫ НА СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Мисюряев В. Ю., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
Ткаченко З. А., *аспирант*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. В статье представлены результаты исследований по совершенствованию элементов технологии возделывания горчицы на светло-каштановых почвах Волгоградской области. В работе проводилось определение оптимальных приемов обработки почвы, норм высева и минеральных удобрений для повышения урожайности и качества семян горчицы в условиях засушливого континентального климата региона. При глубокой вспашке, хорошей влагозарядке, снегозадержании и искусственном орошении светло-каштановые почвы могут давать хорошие урожаи сельскохозяйственных культур. Для сохранения и повышения плодородия необходимы системные агрохимические и агротехнические мероприятия. Система удобрений должна включать как минеральные, так и органические удобрения с обязательным применением микроудобрений. Полученные сведения помогут разработать рекомендации по выращиванию горчицы, чтобы повысить экономическую отдачу и стабильность производства. **Объект исследования:** степные агроландшафты Волгоградской области. **Материалы и методы.** Исследования проводились в течение трех вегетационных периодов на базе ОАО АПК «Пригородный» Светлоярского района Волгоградской области. В качестве объектов исследования были выбраны сорта отечественной селекции. Были изучены различные варианты обработки почвы (вспашка, плоскорезная обработка, нулевая обработка), нормы высева 3-5 кг/га и норма минеральных удобрений (N, P, K в различных соотношениях). Разработанные рекомендации могут быть использованы сельскохозяйственными предприятиями Волгоградской области для оптимизации производства горчицы. **Результаты и выводы.** Результаты трёхлетних исследований показали существенное влияние различных способов обработки почвы на урожайность семян горчицы. Наиболее высокую урожайность обеспечивала традиционная вспашка, однако этот показатель был незначительно выше, чем при плоскорезной обработке. Внедрение оптимизации эффективности выращивания горчицы позволит повысить рентабельность производства, увеличить объем производства масличных культур и укрепить продовольственную безопасность региона.

Ключевые слова: *горчица, технологии возделывания горчицы, почвенные условия возделывания горчицы, способы обработки почвы, нормы высева горчицы, урожайность горчицы, качество семян горчицы.*

Цитирование. Мисюряев В. Ю., Ткаченко З. А. Оптимизация эффективности выращивания горчицы на степных ландшафтах Волгоградской области. *Известия НВ АУК.* 2026. 3(87). 79-84. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-08.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Горчица является ценной масличной и эфиромасличной культурой, широко используемой в пищевой, фармацевтической и химической промышленности [1]. В условиях Волгоградской области, характеризующейся засушливым континентальным климатом и преобладанием светло-каштановых почв, возделывание горчицы требует адаптации агротехнических приемов с учетом специфики почвенно-климатических условий региона.

Светло-каштановые почвы Волгоградской области обладают средней плодородностью, склонны к эрозии и имеют ограниченные запасы влаги, что обуславливает необходимость разработки эффективных технологий возделывания, направленных на сохранение и повышение плодородия почвы, оптимизацию водного режима и обеспечение полноценного питания растений.

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

Исходя из данных Большой Российской Энциклопедии горчица – травянистое скороспелое растение высотой 30-150 см. Корневая система горчицы стержневая, хорошо развита (углубляется в почву на 1,5-2 м); у чёрной горчицы – мочковатая. Стебли прямостоячие, разветвлённые наверху, почти голые или облиственные, с восковым налётом или без него, у рода горчицы – с жёстковолосистым опушением. Листья очередные: верхние – сидячие или короткочерешковые, перисторассечённые или ланцетовидные, цельнокрайные или слабо зазубренные; нижние – длинночерешковые, лировидно-рассечённые или перисто-надрезанные: прикорневая розетка небольшая. Цветки жёлтые или белые, с коротким ноготком и более длинным отгибом; собраны в многоцветковые (25-100 цветков) кистевые соцветия. Растения в большей части перекрёстно опыляющиеся. Плоды – стручки (длина 1-4 см) с мечевидным носиком, гладкие или бугристые, прямые или изогнутые, прижатые к стеблю или отклоняющиеся, иногда короткие (одно-двухсемянные), покрыты волосками; растрескивающиеся или не растрескивающиеся.

Современные агротехнологии горчицы включают комплекс мероприятий: подготовку почвы, выбор оптимальной нормы высева, применение минеральных удобрений, защиту растений от вредителей и болезней. Однако в условиях светло-каштановых почв Волгоградской области многие из этих элементов требуют доработки и адаптации [2].

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

Цель. Оптимизация эффективности выращивания горчицы на степных ландшафтах Волгоградской области.

Материалы и методы. Исследования проводились в период 2023-2025 гг. на опытных полях ОАО АПК «Пригородный» Светлоярского района Волгоградской области. Почвы опытного участка классифицированы как светло-каштановые, с содержанием гумуса 1,8-2,2 %, pH 7,5-7,8, обеспеченностью доступными формами азота 15-20 мг/кг, фосфора – 10-12 мг/кг, калия – 18-22 мг/кг.

Объектом исследования были сорта горчицы отечественной селекции: «Волгоградская-1» и «Светлая». Эксперимент включал три варианта обработки почвы: традиционная вспашка на глубину 25-27 см, плоскорезная обработка на глубину 12-15 см и нулевая обработка (без обработки почвы) [3]. Нормы высева варьировались 3-5 кг/га с шагом 0,5 кг/га. Внесение минеральных удобрений осуществлялось в нормах: $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, а также контрольный вариант без удобрений [4]. Удобрения вносились под ос-

новную обработку почвы (для вспашки и плоскорезной обработки) или перед посевом (для нулевой обработки). Посев проводился сеялкой СЗ-3,6 в оптимальные для региона сроки (первая декада мая). Площадь делянки составляла 100 м², повторность – четырехкратная.

Учет урожайности проводился методом сплошного сбора с опытных делянок с последующим пересчетом на стандартную влажность [5]. Качество семян определялось по стандартным методикам: масличность – методом экстракции гексаном, содержание эфирных масел – методом дистилляции с водяным паром. Статистическая обработка данных проводилась по методике Б. А. Доспехова [6].

Результаты и обсуждение. Влияние обработки почвы на урожайность.

Результаты трёхлетних исследований показали существенное влияние различных способов обработки почвы на урожайность семян горчицы представлена в таблице 1. Наиболее высокую урожайность обеспечивала традиционная вспашка, однако этот показатель был незначительно выше, чем при плоскорезной обработке. Нулевая обработка почвы, несмотря на сохранение стерни и потенциальное накопление влаги, в среднем за годы исследований показала наименьшую урожайность. Это может быть связано с недостаточным прогревом почвы весной и возможным увеличением конкуренции с сорняками на начальных этапах развития растений [7-8].

Таблица 1 – Влияние способов обработки почвы на урожайность семян горчицы (ц/га)
Table 1 – Effect of soil cultivation methods on mustard seed yield (c/ha)

Способ обработки почвы / Soil cultivation methods	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее / Average
Вспашка (25-27 см) / Tillage (25-27 cm)	22,5	20,1	23,8	22,5
Плоскорезная обработка (12-15 см) / Flat-cut tillage (12-15 cm)	21,8	19,5	23,1	22,1
Нулевая обработка / Zero tillage	19,2	17,8	20,5	19,5
$НСР_{05}$	1,5	1,2	1,7	1,4

Оптимальная норма высева является одним из ключевых факторов, определяющих густоту стояния растений и, как следствие, урожайность. Исследования показали, что оптимальной нормой высева для изучаемых сортов горчицы на светло-каштановых почвах Волгоградской области является 3-5 кг/га представлена в таблице 2. При данной норме высева достигалась оптимальная густота стояния растений, что способствовало эффективному использованию почвенной влаги и питательных веществ [9].

Таблица 2 – Влияние нормы высева на урожайность семян горчицы (ц/га)
Table 2 – Effect of seeding rate on mustard seed yield (c/ha)

Норма высева (кг/га) / Seeding rate (kg/ha)	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее / Average
3,0	18,5	16,2	19,8	18,2
3,5	20,1	18,5	21,5	20,0
4,0	22,8	20,5	24,1	22,5
4,5	23,5	21,2	24,8	23,2
5,0	22,1	19,8	23,5	22,5
$НСР_{05}$	1,3	1,1	1,5	1,3

Снижение нормы высева ниже 4,0 кг/га приводило к уменьшению урожайности из-за недостаточной густоты стояния растений и увеличения конкуренции с сорняками [10]. Увеличение нормы высева выше 4,5 кг/га также не давало положительного эффекта, а в отдельные годы наблюдалось снижение урожайности из-за загущения посевов, усиления конкуренции за влагу и питательные вещества, а также повышенной восприимчивости растений к болезням [11-12].

Влияние минеральных удобрений на урожайность.

Применение минеральных удобрений оказало значительное положительное влияние на урожайность семян горчицы представленных в таблице 3. Наиболее эффективным оказалось внесение удобрений в норме $N_{60}P_{60}K_{60}$, что обеспечило максимальную урожайность в среднем за годы исследований – 25,8 ц/га [13]. Норма $N_{60}P_{30}K_{30}$ также показала высокую эффективность, уступая лишь незначительно. Внесение только азотных и фосфорно-калийных удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$) также привело к увеличению урожайности по сравнению с контролем, но в меньшей степени.

Таблица 3 – Влияние норм минеральных удобрений на урожайность семян горчицы (ц/га)
Table 3 – Effect of the mineral fertilizer norm on mustard seed yield (c/ha)

Норма удобрений (кг/га д.в.) / Fertilizer rate (kg/ha)	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее / Average
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	17,5	15,8	18,9	17,4
$N_{30}P_{30}K_{30}$	21,2	19,5	22,5	21,1
$N_{60}P_{30}K_{30}$	23,8	22,1	25,0	23,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$	25,5	23,8	26,7	25,8
$НСР_{05}$	1,6	1,4	1,8	1,6

Анализ взаимодействия различных элементов технологии показал, что максимальная урожайность и наилучшие качественные показатели семян горчицы достигаются при сочетании оптимальных приемов. Так, при традиционной вспашке и внесении удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ с нормой высева 4,5 кг/га урожайность достигала 27,5 ц/га. Однако, учитывая необходимость сохранения почвенной влаги и снижения затрат, перспективным является применение плоскорезной обработки почвы в сочетании с нормой высева 3-5 кг/га и внесением удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$. В этом случае урожайность составила в среднем 26,2 ц/га, что лишь незначительно уступает вспашке, но при этом снижаются энергозатраты и эрозионная опасность [14-15].

Нулевая обработка почвы в условиях данного исследования не показала высокой эффективности, однако при более тщательном контроле сорняков и оптимизации сроков посева, а также при условии достаточного увлажнения в период вегетации, этот метод может иметь потенциал для применения в засушливых регионах.

Заключение. 1. На светло-каштановых почвах Волгоградской области для возделывания горчицы наиболее эффективными способами обработки почвы являются традиционная вспашка и плоскорезная обработка, обеспечивающие урожайность семян на уровне 22,5 и 22,1 ц/га соответственно. Нулевая обработка показала наименьшую урожайность (19,5 ц/га).

2. Оптимальной нормой высева горчицы для получения максимальной урожайности и улучшения качества семян является 3-5 кг/га.

Для достижения

3. высокой урожайности (до 25,8 ц/га) и улучшения качественных показателей семян (масличность, содержание эфирных масел) рекомендуется применение минеральных удобрений в норме $N_{60}P_{60}K_{60}$.

4. Наилучшие результаты по урожайности достигаются при комплексном применении оптимальных элементов технологии: плоскорезная обработка почвы, норма высева 3-5 кг/га и внесение минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$. Данная комбинация обеспечивает урожайность на уровне 26,2 ц/га, снижая при этом энергозатраты и эрозионную опасность по сравнению с традиционной вспашкой.

Conclusion. 1. On light brown soils in the Volgograd region, the most effective tillage methods for mustard cultivation are traditional plowing and subsurface tillage, yielding seed yields of 22.5 and 22.1 c/ha, respectively. No-tillage yielded the lowest (19.5 c/ha).

2. The optimal mustard seeding rate for maximum yield and improved seed quality is 3-5 kg/ha.

3. To achieve high yields (up to 25.8 c/ha) and improve seed quality (oil content, essential oil content), the use of mineral fertilizers at a norm of $N_{60}P_{60}K_{60}$ is recommended.

4. The best yield and seed quality results the combined use of optimal technology elements: subsurface tillage, the seeding rate of 3-5 kg/ha and the application of the $N_{60}P_{60}K_{60}$ mineral fertilizers. This combination ensures a yield of 26.2 c/ha, while reducing energy consumption and erosion risk compared to traditional plowing.

Библиографический список

1. Егоров В. И., Кузнецов А. В. Горчица – перспективная масличная культура. Земледелие. 2019. № 4. С. 28-30.
2. Курбанов С. А., Магомедова Д. С., Магомедов А. И. Оценка сортов горчицы по урожайности, параметрам адаптивности и окупаемости при применении расчетных норм минеральных удобрений. Аграрная Россия. 2024. № 4. С. 16-20.
3. Методические рекомендации по проведению полевых опытов с масличными культурами. М.: ВНИИМК, 2021. 112 с.
4. Тютюма Н. В., Ковтун В. И., Ковтун Л. Н. Влияние элементов технологии возделывания на продуктивность горчицы белой в условиях сухостепной зоны Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (44). С. 10-15.
5. Агрохимические методы повышения урожайности сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 2021. 304 с.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 2023. 336 с.
7. Попов С. А., Иванов А. А. Влияние способов основной обработки почвы на продуктивность горчицы сарептской на черноземах юга России. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2019. № 3. С. 52-56.
8. Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований. М.: Колос, 2023. 366 с.

9. Труханов А. В., Сидорова Е. В. Особенности возделывания горчицы в засушливых условиях Поволжья. Известия Нижневолжского аграрного университета. 2020. № 1 (57). С. 78-85.
10. Шпаар Д., Захаренко В. А., Захаренко А. В. Защита растений от болезней, вредителей и сорняков. М.: Агропромиздат, 2019. 656 с.
11. Фисенко П. П., Захаров В. В. Защита растений от вредителей и болезней в условиях засушливого климата. Ростов н/Д: Феникс, 2021. 320 с.
12. Яковлев А. И., Иванов П. С. Оптимизация сроков и способов посева горчицы в условиях орошения. Аграрный вестник Юго-Востока. 2019. № 3 (72). С. 25-30.
13. Сычев В. Г., Щербаков А. П. Агрохимические основы повышения эффективности удобрений. М.: Агропромиздат, 2021. 272 с.
14. Шурупов В. Г., Картамышева Е. В. Горчица сарептская. Ростов н/Д: Всероссийский НИИ масличных культур, 2020. 53 с.
15. Шабанов А. Н., Коваль С. Ф. Агроэкологические аспекты возделывания горчицы сарептской в Нижнем Поволжье. Волгоград: ВГСХА, 2019. 180 с.

References

1. Egorov V. I., Kuznetsov A. V. Mustard – a promising oilseed crop. Agriculture. 2019. No 4. Pp. 28-30.
2. Kurbanov S. A., Magomedova D. S., Magomedov A. I. Evaluation of mustard varieties by yield, adaptability parameters and payback when applying calculated rates of mineral fertilizers. Agrarian Russia. 2024. No 4. Pp. 16-20.
3. Methodological recommendations for conducting field experiments with oilseed crops. Moscow: VNIIMK, 2021. 112 p.
4. Tyutyuma N. V., Kovtun V. I., Kovtun L. N. The Influence of Cultivation Technology Elements on the Productivity of White Mustard in the Dry-Steppe Zone of the Volgograd Region. Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2019. No 4 (44). Pp. 10-15.
5. Agrochemical Methods for Increasing Crop Yields. Moscow: Kolos, 2021. 304 p.
6. Dospekhov B. A. Field Experiment Methodology. Moscow: Agropromizdat, 2023. 336 p.
7. Popov S. A., Ivanov A. A. The Influence of Primary Tillage Methods on the Productivity of Sarepta Mustard on black colored soils of the Southern Russia. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2019. No 3. Pp. 52-56.
8. Yudin F. A. Methodology of agrochemical research. Moscow: Kolos, 2023. 366 p.
9. Trukhanov A. V., Sidorova E. V. Features of mustard cultivation in arid conditions of the Volga region. Bulletin of the Lower Volga Agrarian University. 2020. No 1 (57). Pp. 78-85.
10. Shpaar D., Zakharenko V. A., Zakharenko A. V. Plant protection from diseases, pests, and weeds. Moscow: Agropromizdat, 2019. 656 p.
11. Fisenko P. P., Zakharov V. V. Plant protection from pests and diseases in arid climates. Rostov-on-Don: Phoenix, 2021. 320 p.
12. Yakovlev A. I., Ivanov P. S. Optimization of timing and methods of sowing mustard under irrigated conditions. Agrarian Bulletin of the South-East. 2019. No 3 (72). Pp. 25-30.
13. Sychev V. G., Shcherbakov A. P. Agrochemical foundations for increasing the efficiency of fertilizers. Moscow: Agropromizdat, 2021. 272 p.
14. Shurupov V. G., Kartamysheva E. V. Sarepta mustard. Rostov-on-Don: All-Russian Research Institute of Oilseeds, 2020. 53 p.
15. Shabanov A. N., Koval S. F. Agroecological aspects of cultivation of Sarepta mustard in the Lower Volga region. Volgograd: VSHA, 2019. 180 p.

Информация об авторах

Мисюряев Виктор Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: att-lab@mail.ru
Ткаченко Захар Алексеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: tkacenkozahar98@gmail.com

Authors' Information

Misyuryaev Viktor Yurievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: att-lab@mail.ru
Tkachenko Zakhar Alekseevich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: tkacenkozahar98@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-09

THE APPLICATION EFFICIENCY OF THE BIOLOGICAL PRODUCTS AND MINERAL FERTILIZERS ON PEAS CULTIVATING IN THE MIDDLE VOLGA REGION CONDITIONS

Nikitin S. N.

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: S_nikitin@mail.ru

Received 29.01.2026 Submitted 22.04.2026

The work was carried out by the staff of the Department of Agriculture and Crop Cultivation Technology of the Ulyanovsk Research Institute of Agriculture, branch of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia for the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences on the topic FMRW-2025-0042.

Summary

The article presents the results of the analysis of scientific and practical literature, comparison, synthesis of opinions, generalization, classification. Based on the data analysis, recommendations are proposed to improve the overall effectiveness of agricultural technologies in the region, which can serve as a basis for sustainable agricultural production and food security.

Abstract

Introduction. In the forest-steppe landscape of the Middle Volga region, characterized by significant climatic and soil limitations for agricultural crops, mineral fertilizers serve as the primary tool for intensifying pea production, contributing to increased yields and improved grain quality. It is noted that a synergistic effect is achieved by integrating mineral fertilizers with biological products. This review article systematizes and analyzes current scientific research and practical results devoted to studying the influence of various types of mineral fertilizers and biological agents on pea productivity in this region. When assessing the feasibility of introducing biological products into agricultural practices, agricultural producers focus on predictable results, which in agriculture are traditionally assessed by yield growth and improvement in quality parameters. **Object.** Results of research by scientists from scientific and educational institutions in the Middle Volga region. Materials and Methods. Using the key terms "pea," "mineral fertilizer," and "biological product," an extensive search was conducted in the eLIBRARY and Google Scholar databases. The timeframe for the included studies was limited to the period from 2015 to 2025, which allowed us to identify 12 full-text, open-access publications. The search included specific queries and keywords in the databases. **Results and conclusions.** This article examines the effectiveness of biological preparations and mineral fertilizers on pea yield and quality in the climatic conditions of the Middle Volga region. Given the growing global population and the pressing need to increase agricultural production, particular attention is being paid to integrated fertilizer systems that combine both mineral and biological methods for improving yields. The use of biological preparations in modern agriculture has been shown by many scientists to have a beneficial effect on the economic efficiency of crop cultivation and soil fertility. The creation of highly productive agrocenoses, including legumes that make full use of the region's bioclimatic resources and address the biological and ecological challenges of modern agriculture, is a key area in the successful development of adaptive landscape crop production in the country. The use of Extrasol on plants during the growing season resulted in a 1.7-1.8-fold increase in the weight and number of nodules in the Lavr variety compared to untreated plants. Based on the average results of the experimental period, the following increase in grain production was recorded relative to the control variant: fodder beans – 4.06 t/ha, soybeans – 0.72 t/ha, and field peas – 0.56 t/ha. Pre-sowing treatment of leguminous seed with a combined formulation of Rizobact and Mezorin 7 stimulates the development of the vegetative part of the plants, which positively affects the productivity of these crops. The use of Zerebra Agro showed a yield increase of 0.25 t/ha when treating the seed, and the combination with foliar spraying yielded a result of 0.31 t/ha. The use of Lignohumate for pre-sowing preparation provided an increase of 0.27 t/ha, while the dual application scheme (seeds plus vegetative plants) increased this figure to 0.31 t/ha. The application of fertilizers ensured an increase in protein productivity in the range of 0.7-1.7 c/ha in average indicators for the varietal composition relative to the control variant, where nutrients were not applied.

***Keywords*:** *cultivation of peas, technologies of pea cultivation, mineral nutrition of peas, yield of peas, conditions of pea cultivation.*

Citation. Nikitin S. N. The application efficiency of the biological products and mineral fertilizers on peas cultivating in the Middle Volga region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 84-94 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-09.

Author's contribution. The author of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. The author of this article have read and approved the final version submitted.

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

УДК 631.82:633.358

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ГОРОХЕ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Никитин С. Н., *доктор сельскохозяйственных наук*

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 технологии возделывания сельскохозяйственных культур Ульяновского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН в рамках государственного задания Минобрнауки России для СамНЦ РАН по теме FMRW-2025-0042.

Актуальность. В условиях лесостепного ландшафта Среднего Поволжья, характеризующегося существенными климатическими и почвенными ограничениями для сельскохозяйственных культур, минеральные удобрения выступают в качестве основного инструмента для интенсификации производства гороха, способствуя увеличению урожайности и повышению качественных характеристик зерна. Отмечено, что синергетический эффект достигается при интеграции минеральных удобрений с биологическими препаратами. Настоящая обзорная статья систематизирует и анализирует современные научные исследования и практические результаты, посвященные изучению влияния различных типов минеральных удобрений и биологических агентов на продуктивность гороха в ука-

занном регионе. При оценке целесообразности внедрения биопрепаратов в агротехнологические схемы, сельскохозяйственные производители ориентируются на прогнозируемую результативность, которая в аграрной сфере традиционно оценивается по показателям прироста урожая и улучшения его качественных параметров. **Объект.** Результаты научно-исследовательских работ ученых научно-образовательных учреждений Среднего Поволжья. **Материалы и методы.** Используя ключевые термины «горох», «минеральное удобрение» и «биопрепарат», был проведен расширенный поиск в базах электронных библиотек eLIBRARY, Google Scholar. Временной диапазон включенных в обзор исследований ограничился периодом с 2015 по 2025 год, что позволило выделить 12 полнотекстовых публикации, находящихся в открытом доступе. Поисковая работа включала применение специальных запросов и ключевых слов в информационных базах данных. **Результаты и выводы.** В данной статье рассматривается эффективность применения биопрепаратов и минеральных удобрений на урожайность и качество гороха в климатических условиях Среднего Поволжья. В условиях роста мирового населения и насущной необходимости увеличения сельскохозяйственного производства особое внимание уделяется интегрированным системам удобрений, которые сочетают в себе как минеральные, так и биологические способы улучшения урожайности. Применение биопрепаратов в современном сельском хозяйстве демонстрирует, по мнению многих учёных, благоприятное воздействие на экономическую эффективность выращивания культур и характеристики почвенного плодородия. Создание высокопродуктивных агроценозов, включающих бобовые культуры, наиболее полно использующих биоклиматические ресурсы региона и решающих биолого-экологические проблемы современного земледелия, является одним из важных направлений в успешном развитии адаптивно-ландшафтного растениеводства в стране. Применение препарата Экстрасол на растениях в вегетационной фазе привело к увеличению массы и количества клубеньковых образований у сорта Лавр в 1,7-1,8 раза относительно необработанных растений. По усредненным результатам экспериментального периода прирост зерновой продукции относительно контрольного варианта зафиксирован следующий: бобы кормовые – 4,06 т/га, соевые бобы – 0,72 т/га, посевной горох – 0,56 т/га. Предпосевная обработка семенного материала зернобобовых комбинированным составом Ризобакт и Мезорин 7 стимулирует развитие вегетативной части растений, что положительно отражается на продуктивности данных культур. Применение препарата Зеребра Агро показало увеличение урожая на 0,25 т/га при обработке посевного материала, а комбинация с листовым опрыскиванием дала результат 0,31 т/га. Использование Лигногумата для предпосевной подготовки обеспечило прирост 0,27 т/га, в то время как двойная схема применения (семена плюс вегетирующие растения) увеличила этот показатель до 0,31 т/га. Внесение удобрений обеспечило прирост белковой продуктивности в диапазоне 0,7-1,7 ц/га в усредненных показателях по сортовому составу относительно контрольного варианта, где питательные вещества не вносились.

Ключевые слова: *возделывание гороха, технологии возделывания гороха, минеральное питание гороха, урожайность гороха, условия возделывания гороха.*

Цитирование. Никитин С. Н. Эффективность применения биопрепаратов и минеральных удобрений на горохе в Среднем Поволжье. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 84-94. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-09.
Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился с представленным окончательным вариантом и одобрил его.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Возделывание гороха способствует поддержанию плодородия земель и позволяет получать экологически чистую продукцию почти в любых климатических зонах, а также является отличным предшественником для озимых и яровых злаковых растений. В животноводческой отрасли горох помогает компенсировать нехватку протеинов растительного происхождения, одновременно снабжая потребителей качественной товарной продукцией. Горох представляет собой ключевую бобовую культуру и занимает значительное место в зерновом производстве Российской Федерации благодаря своему многофункциональному использованию [1].

Горох демонстрирует отличную адаптивность к различным климатическим условиям Среднего Поволжья среди всех зернобобовых растений. Сельскохозяйственные предприятия преимущественно выращивают разновидности с усатой формой листьев, которые превосходят классические листочковые варианты по устойчивости к полеганию. Погодные условия Самарской области, расположенной в засушливой лесостепи Средневолжского района, отличаются значительной изменчивостью как в период роста растений, так и в межгодовом интервале. В контексте глобальных климатических трансформаций актуальной задачей становится сравнительный анализ новых усатых сортов, имеющих различную высоту стебля, и определение адаптивных генотипов с оптимальной морфологической структурой для данной территории – это необходимо для обеспечения стабильных высоких урожаев гороха и продолжения селекционных исследований этой культуры в регионе [2].

Цель исследования – теоретическое обоснование эффективности применения биопрепаратов и минеральных удобрений на горохе в Среднем Поволжье на основе обзора научных исследований последних лет.

Материалы и методы. Используя ключевые термины «горох», «минеральное удобрение» и «биопрепарат», был проведен расширенный поиск в базах электронных библиотек eLIBRARY, Google Scholar. Временной диапазон включенных в обзор исследований ограничился периодом с 2015 по 2025 год, что позволило выделить 12 полнотекстовых публикации, находящихся в открытом доступе. Поисковая работа включала применение специальных запросов и ключевых слов в информационных базах данных.

Результаты и обсуждение. Горох представляет собой ценнейшую сельскохозяйственную культуру, значение которой трудно переоценить в современном земледелии. Эта бобовая культура с давних времен занимает особое место в агропромышленном комплексе благодаря своим уникальным характеристикам. Одним из главных преимуществ выращивания гороха является его способность обогащать землю азотом и восстанавливать почвенное плодородие. Корневая система этого растения отличается исключительной мощностью и способностью извлекать питательные вещества из глубоких почвенных слоев, куда корни зерновых культур обычно не проникают. Горох эффективно усваивает труднодоступные минеральные компоненты, которые злаковые растения практически не могут использовать. Культура демонстрирует замечательную адаптивность к различным природно-климатическим зонам и рельефным особенностям регионов возделывания. Агротехнические приёмы выращивания гороха отличаются относительной простотой и не требуют специального сложного оборудования. Экономическая эффективность производства этой культуры обусловлена умеренными затратами материальных и энергетических ресурсов. Горох обладает широчайшим спектром применения – его используют как для производства продуктов питания, так и для кормления сельскохозяйственных животных. Пищевая ценность гороха определяется исключительно богатым аминокислотным составом, включающим все незаменимые аминокислоты, необходимые для полноценного питания человека и животных. Выращивание этой бобовой культуры способствует значительному улучшению экологической ситуации в агроландшафтах и оздоровлению окружающей среды [3].

Прежде чем принять решение о целесообразности использования биопрепаратов для конкретных растений, фермеры в первую очередь оценивают прогнозируемую результативность таких средств. В аграрной сфере результативность любых агротехнических действий традиционно измеряется показателями роста урожая и улучшения его качественных характеристик, а вот критерии продления сроков годности и улучшения условий хранения продукции учитываются значительно реже. Парадоксально, но методические указания для аграриев в масштабах огромной территории нередко формируются на основе информации, собранной в идеализированных условиях экспериментальных участков научных учреждений, причем детальное описание проведенных экспериментов зачастую может отсутствовать. В публикациях часто отсутствуют данные о характеристиках почвенного покрова, культурах-предшественниках, методиках и периодах проведения агротехнических мероприятий, метеорологических параметрах исследуемого периода, а также информация о поколении применяемого семенного фонда. Результатом становится невозможность систематизации противоречивых показателей изменения продуктивности и формирование усредненных рекомендаций для гипотетических производственных условий. Максимальный прогнозируемый прирост урожайности в процентном выражении (зерновые культуры демонстрируют 13-20 %, овощные, картофель и основные промышленные культуры – 12-25 %, табачные и виноградные насаждения, зернобобовые – 30-40 %), сопровождающийся существенным повышением товарных качеств продукции, зафиксирован в хозяйствах со средним и повышенным уровнем [4, 5, 6].

Региональный подход к внедрению микробиологических средств, адаптированный под специфику местности – климатические параметры, структуру грунтов, выращиваемые культуры и применяемые технологии возделывания – демонстрирует максимальную результативность и финансовую выгоду, что подтверждается практическими наблюдениями. Сельскохозяйственным организациям с узкоспециализированным севооборотом, тепличным производством, либо расположенным в зонах с изменчивыми погодными условиями и неоднородными почвами требуется индивидуальная модификация стандартных методик с учётом конкретных природно-хозяйственных условий предприятия [7].

В исследовании, проведенном группой ученых под руководством В. А. Шадских [8], основной задачей стало изучение компонентов урожайности бобовых растений для оптимизации их производственных характеристик путем использования биостимуляторов. Полевые эксперименты проводились на трех культурах: сое (сорт Марина), горохе лущильном (сорт Альфа) и бобах (сорт Русские черные). Применение комплексной технологии, включающей предпосевную обработку семенного материала комбинацией Мезорин 7 + Ризобакт и последующие подкормки микроэлементами в критические периоды роста, продемонстрировало значительный положительный эффект (таблица 1). Анализ особенностей развития агроценозов зернобобовых подтвердил целесообразность данного агротехнического приема для улучшения урожайных показателей исследуемых культур. В ходе исследований орошаемых посевов выявлено, что наибольший эффект на формирование вегетативной массы и урожай семян демонстрирует внесение микроэлементных составов. По усредненным результатам экспериментального периода прирост зерновой продукции относительно контрольного варианта зафиксирован следующий: бобы кормовые – 4,06 т/га, соевые бобы – 0,72 т/га, посевной горох – 0,56 т/га. Предпосевная обработка семенного материала зернобобовых комбинированным составом Ризобакт и Мезорин 7 стимулирует развитие вегетативной части растений, что положительно отражается на продуктивности данных культур. В исследованиях авторов приводятся недостаточное количество изучаемых биологических препаратов, культур и микроэлементов, что не дает возможности более полноценно изучить влияние изучаемых факторов.

Таблица 1 – Среднее значение биологической урожайности зернобобовых культур в зависимости от применения препаратов, т/га
Table 1 – Average value of biological yield of grain legumes depending on the use of preparations, t/ha

Культура / Crop	Вариант опыта / Experimental options	Биологическая урожайность / Biological yield			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее / Average
Соя сорт Марина / Marina soy variety	Без обработки / No treatment	3,15	3,07	3,10	3,11
	Инкрустация семян Мезорин 7 + Ризобакт / Seed Incrustation Mesorin 7 + Rhizobact	3,54	3,50	3,15	3,39
	Обработка по фазам вегетации микроудобрениями Si, Mo, B, Zn, Mn / Treatment with microfertilizers Si, Mo, B, Zn, Mn during the vegetation phase	3,71	3,74	4,05	3,83
$НСР_{05}$		0,83	0,54	1,05	1,13
Горох сорт Альфа / Alpha peas variety	Без обработки / No treatment	0,94	0,78	1,02	0,93
	Инкрустация семян Мезорин 7 + Ризобакт / Seed Incrustation Mesorin 7 + Rhizobact	1,30	1,32	1,40	1,34
	Обработка по фазам вегетации микроудобрениями Si, Mo, B, Zn, Mn / Treatment with micro fertilizers Si, Mo, B, Zn, Mn during the vegetation phase	1,47	1,49	1,52	1,49
$НСР_{05}$		0,51	0,43	0,95	0,96
Бобы сорт Русские черные / Russian black beans	Без обработки / No treatment	8,83	8,78	8,05	8,55
	Инкрустация семян Мезорин 7 + Ризобакт / Seed Incrustation Mesorin 7 + Rhizobact	11,30	12,09	12,38	11,92
	Обработка по фазам вегетации микроудобрениями Si, Mo, B, Zn, Mn / Treatment with micro fertilizers Si, Mo, B, Zn, Mn during the vegetation phase	12,35	13,08	12,40	12,61
$НСР_{05}$		0,68	0,72	0,83	1,21

Научная группа под руководством В. И. Зотикова [9] изучала влияние предпосевной обработки семян фунгицидом Скарлет, МЭ в комбинации с листовыми подкормками удобрениями Ультрамаг Комби и Биостим Масличный от производителя «Щелково Агрохим» на продуктивность перспективных сортов бобовых культур. Экспериментальные данные показали наибольшую экономическую отдачу от единовременной листовой подкормки гороха изучаемыми составами на стадии формирования 6-7 настоящих листьев: урожайность возрастала на 15,4 % при максимальных показателях рентабельности (таблица 2). Полученные результаты расширили понимание эффективности использования микроэлементных комплексов и стимуляторов роста при выращивании современных сортов гороха, что создаёт предпосылки для увеличения не только валового сбора и прибыльности производства, но и качественных характеристик получаемой продукции. Однако из исследований не понятно почему авторы выбрали именно эти химические и биологические препараты, можно было расширить перечень изучаемых препаратов.

Таблица 2 – Влияние совместного применения препаратов на урожайность сортов гороха при обработке семян и проведения в разные сроки внекорневых подкормок растений
Table 2 – The effect of combined use of preparations on the yield of pea varieties during seed treatment and foliar feeding of plants at different times

Сорт / Variety	Варианты / Options	т/га / t/ha	Прибавка / The increase	
			т/га / t/ha	%
1. Софья / Sofia	Контроль (без обработок) / Control (without treatment)	1,3	-	-
2. Ягуар / Yaguar		1,5	-	-
3. Софья / Sofia	Протравливание семян препаратом Скарлет МЭ (заблаговременно) в дозе 0,35 л/т без микроудобрений / Seed treatment with Scarlet ME (in advance) at a dose of 0.35 l/t without micro nutrient fertilizers	1,4	0,1	8
4. Ягуар / Yaguar		1,6	0,1	7
5. Софья / Sofia	Протравливание семян + одна листовая подкормка микроудобрениями Ультрамаг Комби бобовые 1,0 кг/га и Биостим Масличный 0,5 кг/га в фазу 6-7 листьев гороха / Seed treatment + one foliar application of UltraMag Combi legumes 1.0 kg/ha and Biostim Oil 0.5 kg/ha at the 6-7 leaf stage of peas	1,5	0,2	15
6. Ягуар / Yaguar		1,7	0,2	13
7. Софья / Sofia	Протравливание семян + две листовые подкормки микроудобрениями Ультрамаг Комби бобовые 1,0 кг/га и Биостим Масличный 0,5 кг/га в фазу 6-7 листьев гороха и такая же обработка в фазу бутонизации / Seed treatment + two foliar applications of Ultramag Combi legumes 1.0 kg/ha and Biostim Oilseed 0.5 kg/ha at the 6-7 leaf stage of peas, and the same treatment at the budding stage	1,5	0,2	15
8. Ягуар / Yaguar		1,7	0,2	13
$НСР_{05}$	Сорт / Variety Препараты / preparation	0,10 0,16	-	-

В работах Фарниева А. Т. и его коллег [10] впервые разрабатывалась экологически безопасная методика применения биопрепаратов для новых разновидностей гороха. Основной задачей являлось определение влияния данных препаратов на способность растений к повышению азотфиксирующей активности, болезнеустойчивости и продуктивности новых сортов гороха (таблица 3).

Таблица 3 – Роль биопрепаратов в повышении продуктивности и экономической эффективности при возделывании гороха
Table 3 – The Role of Biological preparations in Improving Productivity and Economic Efficiency in Pea Cultivation

№ п/п	Варианты опыта / Experimental options	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Прибавка / The increase		Рентабельность, % / Profitability, %
			т/га	%	
Сорт Оскар / Oskar variety					
1	Контроль / Control	2,60	–	–	–
2	Ризоторфин (фон) / Rhizotorphin (background)	2,78	0,18	6,9	57
3	Фон + 17-1 / Background+17-1	3,00	0,40	15,0	135
4	Фон + 38-22 / Background+38-22	2,80	0,20	7,6	48
5	Фон + 17-1+38-22 / Background+17-1+38-22	3,20	0,60	23,0	252
	$НСР_{05}$	0,17			
Сорт Прима / Prima variety					
1	Контроль / Control	2,23	–	–	–
2	Ризоторфин (фон) / Rhizotorphin (background)	2,40	0,17	7,6	48
3	Фон + 17-1 / Background+17-1	2,60	0,38	17,0	124
4	Фон + 38-22 / Background+38-22	2,44	0,21	9,4	24
5	Фон + 17-1+38-22 / Background+17-1+38-22	2,81	0,58	26,0	241
	$НСР_{05}$	0,16			

Результаты показали значительное увеличение показателей: для сорта Прима, количество связанного азота возросло с 98 до 128 кг/га, а активный симбиотический потенциал увеличился с 14,7 до 18,0 тыс. кг дней/га. У сорта Оскар наблюдалась аналогичная динамика – азотфиксация повысилась со 109 до 135 кг/га, активный симбиотический потенциал составил 19,3 тыс. кг дней/га против первоначальных 15. Такие результаты были достигнуты благодаря комбинированному применению биопрепаратов: обработке посевного материала перед высевом и опрыскиванию посевов в период вегетации. Применение данного подхода приводит к увеличению урожая семян: у сорта Прима показатели растут от 2,21 до 2,81 т/га, а у сорта Оскар – от 2,60 до 3,20 т/га. Это происходит благодаря усилению защитных свойств растительных культур обеих разновидностей против болезней. Одновременно наблюдается рост участия атмосферного азота в процессах питания: для сорта Прима увеличение составляет с 57 до 67 %, для сорта Оскар – с 58 до 64 % в зависимости от сортовой принадлежности. Исследователям необходимо было увеличить количество сортов в опыте, в таком случае, результаты были бы более полными и объективными.

В современном земледелии особое значение приобретает задача повышения эффективности природной фиксации азота растительными организмами, поскольку это позволяет снизить энергетические расходы при получении сельхозпродукции. Среди инновационных решений выделяется биопрепарат Экстрасол, созданный специалистами Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии, который в последние годы привлекает всё большее внимание аграриев, как средство активизации азотфиксации у бобовых. Основу препарата составляют ризосферные бактерии штамма Bacillus subtilis, колонизирующие корневую систему и повышающие защитные функции растений против неблагоприятных факторов – засушливых условий, низких температур. Применение Экстрасола для предпосевной обработки семенного материала или опрыскивания посевов в период вегетации обеспечивает многофакторное положительное воздействие, способствуя росту продуктивности и повышению качественных характеристик получаемой продукции. Обработка посевного материала или растений в период вегетации данным средством способствует повышению продуктивности культур и улучшению характеристик получаемой сельхозпродукции за счёт многостороннего воздействия. В научной работе Тедеевой В. В. и коллег [11] исследовалось воздействие биологических препаратов КМУ и Экстрасол на фотосинтетические процессы и симбиотические характеристики у перспективных гороховых сортов (таблица 4). Применение Экстрасола на растениях в вегетационной фазе привело к увеличению массы и количества клубеньковых образований у сорта Лавр в 1,7-1,8 раза относительно необработанных растений. Использование биопрепарата продемонстрировало положительное влияние на все параметры развития симбиотической системы гороха. В работе исследователями не приводятся за счет каких механизмов ризосферные бактерии, содержащиеся в препаратах, увеличили массу и количество клубеньковых образований.

Таблица 4 – Влияние биопрепаратов на развитие симбиотического аппарата гороха
Table 4 – The influence of biological preparations on the development of the symbiotic apparatus of peas

Показатели / Indicators	Контроль / Control	Экстрасол / Extrasop	КМУ
Лавр / Lavr			
Количество клубеньков, млн шт./га / Number of tubers, million pieces/ha	3,04	5,21	4,85
Масса клубеньков, кг/га / Tuber weight, kg/ha	33,7	61,3	55,6
АСП, кг дней/га / TSA, kg days/ha	1569	2144	2125
Аргон / Argon			
Количество клубеньков, млн шт./га / Number of tubers, million pieces/ha	2,80	4,87	3,78
Масса клубеньков, кг/га / Tuber weight, kg/ha	31,5	61,7	57,0
АСП, кг дней/га / TSA, kg days/ha	1414	2007	1909
Феникс / Feniks			
Количество клубеньков, млн шт./га / Number of tubers, million pieces/ha	2,54	4,40	1,16
Масса клубеньков, кг/га / Tuber weight, kg/ha	29,2	54,0	51,5
АСП, кг дней/га / TSA, kg days/ha	1314	1920	1815

Научная группа под руководством Бобренко И. А. [12] проводила эксперименты по определению эффективности биостимуляторов в процессе выращивания гороха. Объектом исследования стал сорт Триумф Сибири, а в качестве активных препаратов использовались Зеребра Агро и Лигногумат. Применение данных веществ осуществлялось двумя способами: предпосевная обработка семенного материала и внекорневые подкормки по листу в период вегетации. Результаты экспериментальной работы продемонстрировали благоприятное воздействие биостимуляторов на показатели прорастания семян в полевых условиях. При контрольном значении всхожести 69,3 %, применение препарата Лигногумат для предпосевной обработки обеспечило увеличение данного параметра на 8,8 % Использование биостимулятора Зеребра Агро показало несколько меньшую эффективность – прибавка составила 6,6 %. Использование стимулирующих препаратов положительно сказалось на продуктивности гороховых посевов. Продолжительность вегетационного периода составила от 72 до 78 дней. Обработка Лигногуматом и Зеребра Агро способствовала более быстрому формированию плодов и их дозреванию. Фаза всходов наступала через 11-12 дней после высева семян, цветение продолжалось свыше 30 суток. Выживаемость растений находилась на высоком уровне во всех экспериментальных группах. Применение регуляторов роста позволило сократить вегетационный цикл на 6 суток относительно контрольного варианта (78 суток). Наилучшие показатели сохранности демонстрировал вариант с Лигногуматом – в среднем 98,8 % за двухлетний период наблюдений, тогда как в контроле этот показатель достигал лишь 86,2 %. Контрольный показатель урожайности составил 3,02 т/га (таблица 5). Применение препарата Зеребра Агро показало увеличение урожая на 0,25 т/га при обработке посевного материала, а комбинация с листовым опрыскиванием дала результат 0,31 т/га. Использование Лигногумата для предпосевной подготовки обеспечило прирост 0,27 т/га, в то время как двойная схема применения (семена плюс вегетирующие растения) увеличила этот показатель до 0,31 т/га. Результаты исследования демонстрируют, что двукратное использование стимуляторов роста – для предпосевной и листовой обработки – не обеспечивает существенного превосходства над единичным применением данных средств на этапе подготовки семян. Если бы исследователи рассчитали экономическую эффективность, то можно было бы более точно оценить эффективность однократной или двукратной обработки препаратами.

Таблица 5 – Урожайность гороха при применении стимуляторов роста растений
Table 5 – Pea yield with the use of plant growth stimulants

Вариант / Option	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Прибавка / The increase	
		т/га / t/ha	%
Контроль / Control	3,02	–	–
Лигногумат (обработка семян) / Lignohumate (seed treatment)	3,29	0,27	8,94
Лигногумат (обработка семян + фолиарная обработка) / Lignohumate (seed treatment + foliar treatment)	3,33	0,31	10,3
Зеребра Агро (обработка семян) / Zerebra Agro (seed treatment)	3,27	0,25	8,27
Зеребра Агро (обработка семян + фолиарная обработка) / Zerebra Agro (seed treatment + foliar treatment)	3,33	0,31	10,3

Исследования, проведенные М. Т. Голопятовым совместно с коллегами [13], продемонстрировали благоприятное воздействие минеральных удобрений на урожайность гороха. Различные сорта показали неодинаковую степень реагирования на применение удобрений. Максимальную чувствительность к питательным добавкам проявили два сорта: Фараон (безлисточковая форма) и Спартак (хамелеон-тип), демонстрируя показатель реактивности в диапазоне 123-148 % в зависимости от экспериментальных условий. Использование минеральных подкормок способствовало значительному увеличению количества кормовых единиц и обменной энергии, получаемых с гектарной площади при сборе зернового урожая. Кроме того, минеральные удобрения положительно влияли на протеиновую насыщенность зерна и общий объем белковой массы, собираемой с посевной территории. Среди исследуемых образцов максимальную предрасположенность к полеганию продемонстрировал люпиноид, хотя все сортовые варианты и линии гороха с различным строением листовой системы показали относительную стойкость к этому явлению. Зерно гороха способно эффективно использоваться для балансировки кормовых смесей и животноводческих рационов благодаря высокому содержанию протеина – каждая кормовая единица

включает белковые компоненты в количестве, превышающем установленные зоотехнические требования, причем это характерно для всех испытанных сортов. Внесение удобрений обеспечило прирост белковой продуктивности в диапазоне 0,7-1,7 ц/га в усредненных показателях по сортовому составу относительно контрольного варианта, где питательные вещества не вносились. Интенсивность полегания данного сорта варьировалась в диапазоне 2,1-3,3 балла в зависимости от объёма внесённых питательных веществ (таблица 6).

Таблица 6 – Влияние минеральных удобрений на продуктивность сортов гороха нового поколения
Table 6 – The impact of mineral fertilizers on the productivity of new generation pea varieties

Сорт, линия / Variety, line	Варианты / Options	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Коэффициент отзывчивости (КОУ), % / Coefficient of responsiveness, %	Сбор кормовых единиц, тыс/га / Feed unit collection, thousand/ha	Обменная энергия в урожае, гДж/га / Exchange energy in the crop, gJ/ha
1. Фараон / Faraon	Контроль без удобрений / Control without fertilizers	2,1	-	2,3	26,7
2. Темп / Temp		2,3	-	2,8	29,2
3. Спартак / Spartak		2,2	-	2,7	27,9
4. Лу-153-06 / Lu-153-06		2,2	-	2,7	27,9
В среднем по сортам / On average by varietis		2,2	-	2,6	27,9
5. Фараон / Faraon	РК на планируемую урожайность 5,0 т/га / RK for a planned yield of 5.0 t/ha	2,6	124	3,1	33,0
6. Темп / Temp		2,7	117	3,3	34,3
7. Спартак / Spartak		2,7	123	3,3	34,3
8. Лу-153-06 / Lu-153-06		2,4	109	2,9	30,5
В среднем по сортам / On average by varietis		2,6	118	3,1	33,0
9. Фараон / Faraon	РК + N30	2,9	138	3,5	36,8
10. Темп / Temp		3,1	135	3,7	39,4
11. Спартак / Spartak		3,0	136	3,6	38,1
12. Лу-153-06 / Lu-153-06		2,8	127	3,4	35,6
В среднем по сортам / On average by varietis		2,9	134	3,5	37,5
13. Фараон / Faraon	РК + N42	3,0	143	3,6	38,1
14. Темп / Temp		3,0	130	3,6	38,1
15. Спартак / Spartak		3,0	136	3,6	38,1
16. Лу-153-06 / Lu-153-06		2,9	132	3,5	36,8
В среднем по сортам / On average by varietis		3,0	135	3,6	37,8
17. Фараон / Faraon	РК + N63	3,1	148	3,7	39,4
18. Темп / Temp		3,0	130	3,6	38,1
19. Спартак / Spartak		3,0	136	3,6	38,1
20. Лу-153-06 / Lu-153-06		2,9	132	3,5	36,8
В среднем по сортам / On average by varietis		3,0	136	3,6	38,1

В опыте минеральные удобрения вносили, в том числе, на планируемую урожайность 5,0 т/га, но в результате исследований максимальная урожайность достигнута на уровне 3,1 т/га.

Обсуждение. Современные агротехнологии демонстрируют перспективные направления развития устойчивого земледелия, особенно в контексте региональных особенностей различных климатических зон. Проведенное исследование убедительно показывает, что комплексное применение биологических препаратов в сочетании с традиционными минеральными комплексами открывает новые горизонты для аграрного сектора. Важнейшим аспектом является синергетический эффект, возникающий при взаимодействии биопрепаратов и классических удобрений, когда биологические компоненты значительно усиливают эффективность минеральных веществ, а не просто выступают их дополнением.

Разработка и совершенствование подобных комбинированных систем питания сельскохозяйственных культур открывает реальную возможность существенного увеличения продуктивности без пропорционального роста финансовых вложений и экологической нагрузки на природные системы. Грамотная оптимизация таких агротехнологических решений способна революционизировать подходы к получению высоких урожаев при одновременном сохранении природного баланса. Современные исследования в области устойчивого земледелия демонстрируют значительный потенциал микробиологических препаратов для восстановления и поддержания почвенного здоровья.

Заключение. В опытах технологические схемы возделывания гороха на контрольных вариантах были общепринятыми для каждой из зон, где проводили исследования, а на других вариантах применяли минеральные удобрения и биологические препараты в соответствии со схемами опытов. Исследования проводились в соответствии с общепринятыми методиками. Результаты проведённых экспериментов наглядно показали, что использование биологических средств на основе полезных микроорганизмов привело к существенному обогащению почвы органическими компонентами и активизации жизнедеятельности почвенной микрофлоры. Особенно важным достижением стало формирование более качественной структуры грунта, что создало благоприятные условия для развития корневой системы растений. Интеграция таких препаратов в сельскохозяйственную практику позволила не только получить немедленный эффект в виде увеличения объёмов собранного урожая, но и заложить фундамент для стабильного повышения плодородных характеристик земельных угодий на годы вперёд. Параллельно с этим отмечается экологическая ценность данного подхода, поскольку биопрепараты минимизируют антропогенную нагрузку на природные системы. В контексте выращивания гороховых культур применение микробиологических составов продемонстрировало тройной положительный эффект: усилилась естественная способность растений усваивать атмосферный азот, повысилась их сопротивляемость патогенным факторам, а новые селекционные линии показали впечатляющий рост урожайности. Таким образом, биотехнологический подход открывает перспективы для экологически ответственного и экономически эффективного растениеводства.

Conclusions. In the experiments, the technological schemes for growing peas in the control variants were the generally accepted ones for each of the study areas, while the other variants used mineral fertilizers and biological products in accordance with the experimental schemes. The studies were conducted in accordance with generally accepted methods. The results of the experiments clearly demonstrated that the use of biological products based on beneficial microorganisms significantly enriched the soil with organic components and enhanced the vital activity of soil microflora. A particularly significant achievement was the formation of a better soil structure, which created favorable conditions for the development of plant root systems. The integration of such products into agricultural practices not only resulted in an immediate effect in the form of increased harvest volumes but also laid the foundation for a sustainable improvement in the fertility of the soil for years to come. Furthermore, the environmental value of this approach is noted, as biological products minimize anthropogenic impact on natural systems. In the context of pea cultivation, the use of microbiological formulations demonstrated a triple positive effect: the plants' natural ability to assimilate atmospheric nitrogen increased, their resistance to pathogenic factors increased, and new breeding lines demonstrated impressive yield increases. Thus, the biotechnological approach opens up prospects for environmentally responsible and cost-effective crop production.

Библиографический список

1. Гончаров С. В., Коробова Н. А. Перспективные направления селекции гороха. Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 13-17.

2. Катюк А. И., Майстренко О. А. Формирование урожайности зерна сортов гороха усатого морфотипа с различным типом роста стебля в условиях лесостепи среднего Поволжья. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 2-4. С. 633-637.

3. Горянин О. И., Трутнева Д. Ю., Джангабаев Б. Ж., Щербинина Е. В. Влияние элементов технологии на урожайность и эффективность возделывания гороха в засушливых условиях Поволжья. Земледелие. 2025. № 2. С. 7-11.

4. Вошедский Н. Н., Кулыгин В. А. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность новых сортов гороха в условиях Нижнего Дона. Земледелие. 2024. № 7. С. 19-24.

5. Никитин С. Н. Влияние предпосевной обработки семян агрохимикатом изагри на продуктивность и качество яровой пшеницы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 2 (70). С. 84-90.

6. Chekaev N. P., Blinokhvatova Yu. V., Nushtaeva A. V., Kuznetsov A. Yu. Achieving the balance of macronutrients with the no-till technology in the cultivation of agricultural crops with microbiological fertilizers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021). 2022. Art. 012022.

7. Балакина С. В. Эффективность применения микробиологических удобрений при возделывании картофеля в условиях северо-запада России. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 83. С. 69-75.

8. Шадских В. А., Кижаева В. Е., Пешкова В. О. Показатели формирования агрофитоценозов зернобобовых культур при применении стимулирующих биопрепаратов в условиях орошения. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 314-331.

9. Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Бударина Г. А., Голопятов М. Т., Акулов А. С., Семёнов А. С., Вилюнов С. Д. Влияние применения препаратов Биостим Масличный и Ультрамаг Комби на урожайность новых сортов зернобобовых культур. Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 4 (32). С. 4-12.

10. Farniev A. T., Kozyrev A. Kh., Sabanova A. A., Kokoev Kh. P., Khanaeva D. K., Bazaeva L. M., Alborova P. V. Biological technologies for crops cultivation. Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. V. 6. No 5. Pp. 8956-8962.

11. Tedeeva V. V., Tedeeva A. A., Abaev A. A., Mamiev D. M., Khokhoeva N. T., Kelekhsashvili L. M. Symbiotic activity of leguminous crops depending on the variety and growing conditions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on World Technological Trends in Agribusiness 2021. Art. 012016.

12. Бобренко И. А., Попова В. В., Александров Д. В., Асанов А. М. Влияние стимуляторов роста на урожайность гороха в лесостепи. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (51). С. 32-37.

13. Голопятов М. Т., Кондрашин Б. С. Качество зерна сортов гороха, различающихся по архитектонике листового аппарата, в зависимости от уровня применения минеральных удобрений. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 1 (33). С. 24-29.

References

1. Goncharov S. V., Korobova N. A. Promising Directions in Pea Breeding. Agrarian Scientific Journal. 2022. No 9. Pp. 13-17.

2. Katyuk A. I., Maistrenko O. A. Formation of Grain Yield of Pea Varieties of the Whiskered Morphological Type with Different Stem Growth Types in the Forest-Steppe Conditions of the Middle Volga Region. Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. Vol. 19. No. 2-4. Pp. 633-637.

3. Goryanin O. I., Trutneva D. Yu., Dzhangabaev B. Zh., Shcherbinina E. V. Influence of Technological Elements on the Yield and Efficiency of Pea Cultivation in Arid Conditions of the Volga Region. Agriculture. 2025. No 2. Pp. 7-11.

4. Voshedskiy N. N., Kulygin V. A. Influence of cultivation technology elements on the yield of new pea varieties in the Lower Don region. Agriculture. 2024. No 7. Pp. 19-24.

5. Nikitin S. N. Influence of pre-sowing seed treatment with the agrochemical Izagri on the productivity and quality of spring wheat. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2025. No 2 (70). Pp. 84-90.

6. Chekaev N. P., Blinokhvatova Yu. V., Nushtaeva A. V., Kuznetsov A. Yu. Achieving the balance of macronutrients with the no-till technology in the cultivation of agricultural crops with microbiological fertilizers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021). 2022. Art. 012022.

7. Balakina S. V. Efficiency of microbiological fertilizers in potato cultivation in northwestern Russia. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2020. No 83. Pp. 69-75.

8. Shadskikh V. A., Kizhaeva V. E., Peshkova V. O. Indicators of leguminous crop agricultural phytocenoses formation using stimulating biological preparations under irrigation. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13. No 4. Pp. 314-331.

9. Zotikov V. I., Sidorenko V. S., Budarina G. A., Golopyatov M. T., Akulov A. S., Semenov A. S., Vilyunov S. D. Effect of Biostim Maslichny and Ultramag Combi on the yield of new varieties of leguminous crops. Legumes and cereal crops. 2019. No 4 (32). Pp. 4-12.

10. Farniev A. T., Kozyrev A. Kh., Sabanova A. A., Kokoev Kh. P., Khanaeva D. K., Bazaeva L. M., Alborova P. V. Biological technologies for crops cultivation. Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. Vol. 6. No 5. Pp. 8956-8962.

11. Tedeeva V. V., Tedeeva A. A., Abaev A. A., Mamiev D. M., Khokhoeva N. T., Kelekhsashvili L. M. Symbiotic activity of leguminous crops depending on the variety and growing conditions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on World Technological Trends in Agribusiness 2021. Art. 012016.

12. Bobrenko I. A., Popova V. V., Aleksandrov D. V., Asanov A. M. Effect of growth stimulants on pea yield in the forest-steppe. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2023. No 3 (51). Pp. 32-37.

13. Golopyatov M. T., Kondrashin B. S. Grain quality of pea varieties differing in leaf architecture depending on the level of mineral fertilizer application. Legumes and cereal crops. 2020. No 1 (33). Pp. 24-29.

Информация об авторах

Никитин Сергей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. С. Немцева (Российская Федерация, 433315, Ульяновская область, Ульяновский район, п. Тимирязевский, ул. Институтская, 19), e-mail: S_nikitin@mail.ru

Author's Information

Nikitin Sergey Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, N. S. Nemtsev Ulyanovsk Research Institute of Agriculture (Russian Federation, 433315, Ulyanovsk Region, Ulyanovsk District, Timiryazevsky Village, Institutskaya Street, 19), e-mail: S_nikitin@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-10

THE CABERNET SOVINION, SAPERAVI AND GRANATOVYI RED GRAPE VARIETY CLONES IN THE CONDITIONS OF THE NORTH-WESTERN PRE-CAUCASUS

Petrov V. S., Antonyan A. K., Khristenko P. A., Kozhevnikov E. A., Kozina T. D.

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

Corresponding author E-mail: petrov_53@mail.ru

Received 06.11.2025 Submitted 25.02.2026

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 an agro-biological and production assessment of the grape varieties Cabernet Sauvignon, Saperavi and Granatovyi in unstable weather conditions of the temperate continental climate of the Northwestern Ciscaucasia. According to the research results, protoclones with economically valuable positive signs have been identified for practical use in the Russian viticulture industry.

Abstract

Introduction. To create stable highly productive ampelocenoses in unstable weather conditions of the temperate continental climate of southern Russia, it is necessary to improve the gene pool of grapes, import substitution of introduced varieties with domestic genotypes adapted to the stressful conditions of the growing environment. The use of domestic genotypes and an increase in their share in the assortment will contribute to ensuring technological sovereignty, sustainable production of high-quality competitive viticulture and winemaking products, and socio-economic growth. **Object.** The objects of research are the protoclones of the red technical grape varieties Cabernet Sauvignon, Saperavi and Granatovyi. **Materials and methods.** The research was carried out in the Black Sea agro-ecological zone of viticulture of the Krasnodar Territory in the Yuzhnaya AF (Taman village, 2005-2008), the uterine bushes of the protocones were selected. The first vegetative offspring were planted in 2009 at the AZOSViV clone testing site (Anapa), the second vegetative offspring at the clone testing site in Yuzhnaya AF. Protoclones were evaluated by the number of shoots, including fertile, blooming eyes, clusters, fruiting and fruiting coefficients, average weight of the bunch and grape yield, and shoot productivity. **Results and conclusions.** In conditions of increased solar insolation and precipitation deficiency, consistently high agro-biological indicators and grape productivity were maintained at all stages of the study in the CHK 1-10 Cabernet Sauvignon and CHS 24-44 Saperavi grape varieties. Protoclones in the first and second vegetative progeny showed high values in terms of agrobiology and productivity at all observation periods. In protoclone CHK 1-10, in the second vegetative progeny during the second observation period, the number of fertile shoots was the highest, 57 pcs./bush, which is 33 % higher than the average value. In terms of the number of bunches, the excess of the average values was 38 %, for K1 – 16 %, for K2 – 5 %. The yield was 6.9 kg/bush. In the CHS 24-44 protoclone, the excess relative to the average values was in the number of fertile shoots by 12 %, bunches by 11 %, K1 by 2 %, in the mass of the bunch by 7 %, shoot productivity by 17 % and yield by 27 %.

Keywords: *grape varieties, red grape varieties, clones of red grape varieties, grape yield, and the development of viticulture.*

Citation. Petrov V. S., Antonyan A. K., Khristenko P. A., Kozhevnikov E. A., Kozina T. D. The Cabernet Sovinion, Saperavi and Granatovyi red grape variety clones in the conditions of the North-Western Pre-Caucasus. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 95-107 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-10.

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 634.8:631.52

КЛОНЫ КРАСНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СОРТОВ ВИНОГРАДА КАБЕРНЕ СОВИНЬОН, САПЕРАВИ И ГРАНАТОВЫЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПРЕДКАВКАЗЬЕ

Петров В. С., *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
Антонян А. К., *магистр*
Христенко П. А., *магистр*
Кожевников Е. А., *аспирант*
Козина Т. Д., *аспирант*

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. Для создания устойчивых высокопродуктивных ампелоценозов в нестабильных погодных условиях умеренно континентального климата юга России необходимо улучшение генофонда винограда, импортозамещение интродуцированных сортов отечественными генотипами,

адаптированными к стрессовым условиям среды произрастания. Использование отечественных генотипов, увеличение их доли в сортименте будет способствовать обеспечению технологического суверенитета, устойчивому производству высококачественной конкурентоспособной продукции виноградарства и виноделия, социально-экономическому росту. **Объект.** Объектами исследований являются протоклоны красных технических сортов винограда Каберне Совиньон, Саперави и Гранатовый. **Материалы и методы.** Исследования выполнены в Черноморской агроэкологической зоне виноградарства Краснодарского края в АФ «Южная» (ст-ца Тамань, 2005-2008 гг.) отобраны маточные кусты протоклонов. Высадка первого вегетативного потомства произведена в 2009 г. на клоноиспытательном участке АЗОСВиВ (г.-к. Анапа), второе вегетативное потомство на клоноиспытательном участке в АФ «Южная». 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. **Результаты и выводы.** В условиях повышенной солнечной инсоляции и дефицита атмосферных осадков на всех этапах изучения сохранялись стабильно высокие агробиологические показатели и продуктивность винограда у протоклона ЧК 1-10 сорта Каберне Совиньон и ЧС 24-44 сорта Саперави. Протоклоны в первом и втором вегетативном потомствах во все сроки наблюдений показали высокие значения по агробиологии и продуктивности. У протоклона ЧК 1-10 во втором вегетативном потомстве во второй срок наблюдений количество плодоносных побегов было наибольшим, 57 шт./куст, что на 33 % выше средней величины. По количеству гроздей превышение средних значений было 38 %, по К1 – 16 %, по К2 – 5 %. Урожайность составляла 6,9 кг/куст. У протоклона ЧС 24-44 превышение относительно средних значений было по количеству плодоносных побегов на 12 %, гроздей на 11 %, К1 на 2 %, по массе грозди на 7 %, продуктивности побега на 17 % и урожайности на 27 %.

Ключевые слова: *сорта винограда, красные сорта винограда, клоны красных сортов винограда, урожайность винограда, развитие виноградарства.*

Цитирование. Петров В. С., Антонян А. К., Христенко П. А., Кожевников Е. А., Козина Т. Д. Клоны красных технических сортов винограда Каберне Совиньон, Саперави и Гранатовый в Северо-Западном Предкавказье. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 95-107. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-10.
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. Клон, это вегетативное потомство почковой мутации или длительной модификации, отличающееся генотипически от исходных растений данного сорта одним или несколькими признаками, сохраняющимися при вегетативном размножении. Международная организация винограда и вина (OIV) определяет клон как вегетативное потомство исходного растения винограда, отобранного исходя из его идентичности, фенотипических особенностей и санитарного статуса [1]. Все растения клона идентичны между собой и с исходным растением. Клоны характеризуются общностью биологических, морфологических и хозяйственно ценных признаков [2]. Клоновая селекция предполагает выявление индивидуальных хозяйственно полезных вариаций у различных сортов, возникающих путем мутационной изменчивости, их паспортизацию и закрепление путём вегетативного размножения [3].

Клоны происходят в процессе мутации. Мутации могут возникать спонтанно, под воздействием внешних природных факторов – интенсивного ультрафиолетового излучения, перепадов температур, вирусов и искусственно-химические мутагены.

Спонтанные мутации могут быть как генными мутациями, так и хромосомными аберрациями. Если изменения вызваны ненаследственными причинами, полученные свойства не будут сохраняться при вегетативном размножении. Модификации – фенотипические различия, возникающие в организмах с одинаковой генетической структурой под влиянием факторов внешней среды, – могут быть альтернативными (качественные признаки) и флуктуирующими (количественные признаки) [4].

Результативность клоновой селекции выше в насаждениях давно культивируемых сортов (Трошин и др., 1987). За долгий срок их возделывания накапливаются мутации, закрепленные путем вегетативного размножения, поэтому распространенные сорта часто представлены смесью клонов. Клоны могут встречаться и у новых сортов межвидового происхождения в связи с высокой гетерозиготностью [5].

В современных насаждениях винограда Краснодарского края используется более 100 сортов. Из них 70 % площади насаждений занимают 13 сортов интродуцированных, преимущественно западноевропейской селекции: Алиготе, Бианка, Каберне Совиньон, Мерло, Пино, Рислинг, Саперави, Шардоне и др. Эти сорта дают хорошее качественное вино, но не устойчивы к биотическим и абиотическим стресс-факторам, подвержены влиянию погодных аномалий, восприимчивы к болезням и вредителям.

Для создания устойчивых высокопродуктивных ампелоценозов в нестабильных погодных условиях умеренно континентального климата юга России необходимо улучшение сортимента винограда, импортозамещение интродуцированных сортов отечественными генотипами, адаптированных к стрессовым условиям среды произрастания. Все свои лучшие биологические, хозяйственно-ценные признаки селекционный материал реализует по месту происхождения. Использование отечественных генотипов, увеличение их доли в сортименте края будет способствовать обеспечению технологического суверенитета, устойчивому производству высококачественной конкурентоспособной продукции виноградарства и виноделия, социально-экономическому росту.

Учитывая ценность метода клоновый отбор активно используется во многих виноград производящих странах мира – Италии, Франции, Испании, Германии, Венгрии, Румынии, Украины, Молдавии, Грузии и др. [6]. В России основными пользователями клоновой селекции являются регионы с крупным виноградарством: Краснодарский край, Крым, Дагестан.

Клоновая селекция в Краснодарском крае позволила выделить генотипы с повышенной адаптивностью для производства высококачественных красных и белых вин [7]. Выделенные на Кубани клоны сорта Саперави положительно отличаются от аналогов стабильным и высоким уровнем плодоношения, улучшенным качеством винопродукции, повышенным адаптивным потенциалом [8].

В Крыму селекция направлена на выявление и оценку хозяйственно ценных показателей биотипов в популяции наиболее ценных сортов винограда. В ходе исследований установлено, что урожайность промышленных насаждений сорта Бастардо магарачский, наряду с другими факторами, определяется соотношением биотипов в них. Экономически оправдан отбор клонов I и II биотипов, которые по показателям продуктивности превышают биотип III на 2,9-5,7 кг/куст (Голодрига и др., 1976).

Биотип сорта Цитронный Магарача по сравнению с контролем в Крыму показал более стабильные показатели механического состава урожая, слабо зависящие от метеорологических условий периода вегетации. Результаты дисперсионного анализа показывают, что биотип сорта Цитронный Магарача по урожайности существенно превосходит контроль [3]. Наблюдения за количественными и качественными признаками (урожайность, динамика сахаронакопления и др.) позволили выделить в Крыму растения – родоначальники клонов по сортам Кефесия, Эким кара и Джеват кара для изучения с последующим размножением и использованием в производстве для приготовления уникальных десертных и крепких виноматериалов [9].

В Италии используя геномные инструменты, в частности на основе GBS, выявили ключевые клоновые вариации, которые могут влиять на такие важные характеристики, как урожайность, качество ягод и устойчивость к стрессу. Исследование также демонстрирует, что геномные методы, которые способствуют всестороннему изучению и использованию внутриклонального генетического разнообразия, могут значительно улучшать сохранение, размножение и эффективное использование зародышевой плазмы виноградной лозы. Эти достижения особенно важны для развития климатически оптимизированного виноградарства [10].

В Апулии (Италия) масштабную селекционную программу осуществляют по выведению бессемянных сортов винограда, устойчивых к мучнистой росе и ложной мучнистой росе [11].

Испания методом клональной селекции улучшает технические и столовые сорта винограда. При дефиците осадков наибольшее внимание уделяется селекции клонов устойчивых к засушливым условиям [12, 13]. Чтобы избежать дублирования образцов и ошибок идентификации используются молекулярно-генетические методы SSR. На основе современных методов провели генетическое описание 28 коммерческих клонов испанского национального Каталога сортов с использованием 10 микросателлитных молекулярных маркеров (De-Lucas and others, 2008).

Во Франции большое внимание для улучшения сортов стали уделять клональной селекции *V. Vinifera*, начиная с 1960-х годов [14]. Для селекции, за последние 15 лет на основе маркерной биотехнологии накоплен значительный объем знаний о геноме виноградной лозы, а также о механизмах, участвующих во взаимодействии виноградной лозы с окружающей средой, вредителями и болезнями [15]. Широко используют методы трансформации растений для улучшения сортов на основе введения определенных фрагментов ДНК, кодирующих желаемые генетические характеристики (Alleveldt and others, 1988).

В Германии селекция виноградной лозы ведется 140 лет. Деятельность привела к получению большого количества клонов традиционных сортов и сортов *Vitis vinifera* с новыми характеристиками, таких как Scheurebe, Siegerrebe, Morio Muskat, Bacchus, Kerner, Dornfelder и Ehrenfelser, а также ряд недавних селекций с устойчивостью к ложной и/или мучнистой росе, таких как Regent, Солярис или Рондо. Параллельно ведется селекция подвоя. Германия представила первый полностью устойчивый к филлоксере подвой. В настоящее время селекционные усилия все больше концентрируются на других признаках, касающихся параметров качества, а также устойчивости и фенологических характеристик. Все больше применяется селекция с помощью маркеров [16].

Селекция в Турции направлена на повышение урожайности и качества винограда. В процессе исследований на 2 виноградниках в Килисе и 3 в провинции Газиантеп у сорта винограда «Хороз Карасы» наблюдалось увеличение урожайности на 62 %, массы гроздей на 44 %, массы ягод на 9 %, массы древесины на 90 % и коэффициента плодоношения на 55 % [17].

Таким образом, проблема повышения адаптивности, устойчивого плодоношения, улучшения качества продукции, конкурентоспособности отечественного виноградарства и виноделия на основе совершенствования сортимента, увеличения в насаждениях винограда доли высокоадаптивных и продуктивных клонов отечественной селекции является крайне актуальной. Выделение отечественных клонов – это возможность выдвижения Российского виноградарства на новый уровень. Клоны, выделенные в местных терруарах, обладают большим продукционным и качественным потенциалом, за счет адаптации к почвенным и климатическим условиям среды обитания, наиболее полной реализацией сортовых особенностей в готовом продукте.

Цель данной работы – изучение и отбор протоклонов сортов Каберне Совиньон, Саперави и Гранатовый с положительными признаками высокой адаптивности, продуктивности и качества продукции для обеспечения стабильного производства конкурентоспособного винограда.

Материалы и методы. Объект исследований – протоклоны красных технических сортов винограда: Каберне Совиньон, Саперави и Гранатовый.

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 два срока – 2015-2016 гг. (первый срок), 2025 г. (второй срок).

Для оценки протоклонов использовали общепринятые в виноградарстве методы клоновой селекции [18]. 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 [19].

Результаты и обсуждение. Оценку и выделение протоклонов в первом и втором вегетативном потомствах проводили в изменчивых погодных условиях климатологического периода 1991-2020 гг. Данный период в Северо-Западном Предкавказье характеризуется существенным потеплением климата по сравнению с предшествующим периодом (1961-1990 гг.). Среднегодовая температура воздуха увеличилась в Анапе на 0,8 °С (6,6 %), на Тамани на 0,8 °С (7 %) и стала 13,0 и 12,2 °С соответственно. Повышение температуры наблюдалось в жизненно важные периоды онтогенеза растений винограда: в Анапе в целом за вегетацию на 1,0 °С (5 %), во время цветения на 0,7 °С (4 %), активного роста ягод винограда на 1,4 °С (6 %) и созревания на 1,6 °С (8 %), на Тамани за вегетацию на 0,9 °С (5 %), во время цветения на 0,5 °С (3 %), активного роста и созревания ягод винограда на 1,3 °С (6 %). Сумма активных температур воздуха увеличилась в Анапе на 332 °С (9 %), на Тамани на 212 °С (6 %). Максимальная температура превысила пределы оптимальных значений и составляла в Анапе и на Тамани 38 °С. Количество атмосферных осадков в среднем за климатологический период 1991-2020 гг. было больше, чем в период 1961-1990 гг. в Анапе на 40 мм, на Тамани на 27 мм (таблица 1).

Таблица 1 – Метеоусловия на участке изучения протоклонов
Table 1 – Meteorological conditions at the site of studying the protoclones

Показатели / Indicators	Метеостанция г.-к. Анапа / Anapa weather station						Метеостанция г. Темрюк / Temryuk weather station					
	1961-1990	1991-2020	2014-2016	2014	2015	2016	1961-1990	1991-2020	2015-2016	2015	2016	2025
Температура воздуха, °C / Air temperature, °C												
Среднегодовая / Annual average	12,2	13,0	13,7	13,8	13,9	13,5	11,4	12,2	12,7	12,8	12,6	
За вегетацию (I.04-III.09) / During the growing season (I.04-III.09)	18,4	19,4	20,4	20,4	20,1	20,6	18,7	19,6	20,1	19,8	20,3	19,5
Во время цветения (III.05-I.06) / During flowering (III.05-I.06)	18,2	18,9	19,9	20,9	20,4	18,5	19,1	19,6	19,5	20,4	18,6	20,7
В период активного роста ягод (II.06-III.07) / During the period of active berry growth (II.06-III.07)	22,0	23,4	24,3	23,8	23,6	25,4	22,5	23,8	24,3	23,6	25,1	24,1
Во время созревания винограда (I.08-II.09) / During grape ripening (I.08-II.09)	21,2	22,8	24,4	24,5	24,3	24,5	21,2	22,5	23,5	23,3	23,8	22,4
В период вынужденного покоя (I.01-III.03) / During the period of forced rest (I.01-III.03)	3,3	4,2	5,6	5,5	5,5	5,8	1,2	2,5	3,9	3,5	4,3	3,7
Max (абсолютная) / Max (absolute)	37,3	38,0	36,0	37,0	35,0	36,0	37,0	38,0	36,0	35,0	36,0	37,0
Min (абсолютная) / Min (absolute)	-18,6	-24,0	-17,0	-17,0	-19,0	-14,0	-23,0	-24,0	-20,0	-20,0	-14,0	-15,0
Сумма активных температур (> 10 °C) / Sum of active temperatures (> 10 °C)	3605	3937	4016	4094	3980	3975	3598	3810	3780	3666	3894	3809
Переход температуры через 10 °C весной / Temperature transition through 10 °C in spring	13.04	16.04	16.04	15.04	25.04	9.04	13.04	11.04	7.04	14.04	1.04	10.04
Переход температуры через 10 °C осенью / Temperature drop of 10 °C in autumn	01.11	13.11	04.11	21.11	30.11	21.10	24.10	30.10	15.10	15.10	15.10	31.10
Период с температурой выше 10 °C, дней / Period with temperatures above 10 °C, days	202	211	202	217	219	195	194	202	191	184	198	204
Атмосферные осадки, мм / Atmospheric precipitation, mm												
За год / For the year	526	566	595	608	477	701	511	538	555	473	636	
Вегетация (I.04-III.09) / Vegetation (I.04-III.09)	231	243	260	274	184	319	238	256	261	194	327	195
Цветение (III.05-I.06) / Flowering (III.05-I.06)	22	32	35	49	13	42	28	34	72	21	122	19
Активного роста ягод винограда (II.06-III.07) / Active growth of grape berries (II.06-III.07)	63	60	51	90	47	17	64	75	32	50	15	77
Созревание ягод винограда (I.08-II.09) / Grape berry ripening (I.08-II.09)	85	88	108	103	14	208	68	71	35	23	46	31
Осенне-зимне-весенний период (I.10-III.03) / Autumn-winter-spring period (I.10-III.03)	297	324	330	280	339	371	274	271	281	279	282	214

В годы оценки первого и второго вегетативного потомства погодно-климатические условия на клоноиспытательных участках в целом были близки к средним значениям климатологического периода 1991-2020 гг., но при этом отличались от предшествующего периода (1961-1990 гг.) и были нестабильны.

На клоноиспытательном участке в Анапе в период оценки первого вегетативного потомства среднегодовая температура воздуха в 2014-2016 годах была выше климатологической нормы (1961-1990 гг.) на 1,5 °С (12 %) и составляла 13,7 °С, во время вегетации превышение было 2 °С (11 %) и составляло 20,4 °С. В период активного роста и созревания ягод температура поднималась до 28 °С, что выше нормы на 3,0 °С (15 %). Максимальная температура воздуха в этот период поднималась до 37 °С и была критической для вегетации. Сумма активных температур воздуха увеличилась на 489 °С (14 %) и составляла 4094 °С. В 2016 году отмечался острый дефицит атмосферных осадков в период роста ягод винограда, их было 17 мм, на 73 % меньше нормы. 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.

Оценка второго вегетативного потомства (ст-ца Тамань) проходила также в нестабильных погодных условиях. В первый срок наблюдений (2015-2016 гг.) среднегодовая температура воздуха на клоноиспытательном участке была выше нормы (1961-1990 гг.) на 1,3 °С (11 %) и составляла 12,7 °С. За время вегетации в целом превышение соответствовало 1,4 °С (7 %), в период роста ягод – 1,8 °С (8 %), созревания ягод – 2,3 °С (11 %). Сумма активных температур воздуха увеличилась на 296 °С (8 %) и достигала 3894 °С. Годовая сумма осадков была выше нормы на 9 % и составляла 555 мм. При этом в 2015 г. в период вегетации осадков было меньше нормы на 18 %, в 2016 г. наоборот больше нормы на 37 %. Острый дефицит осадков во все годы отмечался во время роста ягод винограда. В среднем за время исследований их было 32 мм, что меньше нормы на 50 %. Наиболее острый дефицит осадков был в 2016 году. Их было всего 15 мм, на 77 % меньше нормы. Во второй срок наблюдений (2025 г.) температура воздуха во время вегетации была выше нормы на 0,8 °С (4 %), цветения на 1,6 °С (8 %), в период роста ягод на 1,6 °С (7 %). Максимальная температура воздуха поднималась до 37 °С. На фоне высоких температур наблюдался дефицит осадков во время цветения и созревания ягод, их было меньше нормы на 32 и 54 % соответственно.

Длительные исследования в нестабильных погодных условиях умеренно континентального климата Северо-Западного Предкавказья позволили выявить протоклоны, сохраняющие свои положительные хозяйственно ценные признаками во всех потомствах.

У сорта Каберне Совиньон выделены протоклоны со стабильно высокими агробиологическими показателями и продуктивности в динамике. В первом вегетативном потомстве на клоноиспытательном участке в г.-к. Анапа, в среднем за 2014-2016 годы по совокупности положительных признаков выделялись протоклоны сорта Каберне Совиньон – ЧК 1-80, ЧК 1-77 и ЧК 1-10. У данных протоклонов было наибольшим количество плодоносных побегов, 18, 14 и 18 шт./куст соответственно, что на 38, 8 и 38 % выше средней величины из числа изучаемых протоклонов. На каждый побег приходилось от одного до трех гроздей. Наибольшее количество побегов встречалось с двумя гроздями. Также они превосходили другие генотипы по общему количеству гроздей и коэффициентам плодоношения (К1) и плодоносности (К2). Разница по количеству гроздей по сравнению со средними значениями аналогов была 57, 24 и 48 %, по К1 – 49, 43 и 26 %, по К2 – 12, 13 и 6 % соответственно. Наибольшей продуктивностью в первом вегетативном потомстве отличались протоклоны ЧК 1-80, ЧК 1-77, ЧК 1-10, ЧК 8-38. У протоклонов ЧК 1-80 и ЧК 1-77 продуктивность побега превосходила среднее значение изучаемых аналогов на 54 % и составляла 0,17 кг/побег, у протоклона ЧК 1-10 превышение было 27 %, у ЧК 8-38 – 36 %. Урожайность с куста была наибольшей у протоклона ЧК 1-80 и составляла 3,2 кг/куст, далее в убывающем порядке следуют протоклоны ЧК 1-10, ЧК 1-77 и ЧК 8-38 при урожайности 2,9, 2,6 и 2,5 кг/куст соответственно.

Во втором вегетативном потомстве в первый срок наблюдений (2015-2016 гг.) на клоноиспытательном участке в ст-це Тамань высокие агробиологические показатели и продуктивность показали протоклоны ЧК 8-38, ЧК 2-21, ЧК 1-77 и ЧК 1-10. Протоклоны ЧК 2-21 и ЧК 1-10 превосходили средние значения по количеству плодоносных побегов на 4 и 13 % соответственно. Количество гроздей наибольшим было у протоклонов ЧК 2-21, ЧК 1-77 и ЧК 1-10, урожайность у ЧК 8-38, ЧК 1-77 и ЧК 2-21.

Во второй срок наблюдений в 2025 году наиболее высокие положительные признаки по агробиологическим показателям и продуктивности винограда оставались у протоклона ЧК 1-10. Количество плодоносных побегов у данного протоклона было наибольшим, 57 шт./куст, что на 33 % выше средней величины. На каждый побег приходилось от одного до трех гроздей. Наибольшее количество побегов встречалось с двумя гроздями. Превосходил другие генотипы по общему количеству гроздей и коэффициентам плодоношения (К1) и плодоносности (К2). Разница по количеству гроздей по сравнению со средними значениями была 38 %, по К1 – 16 %, по К2 – 5 %. Наибольшей продуктивностью отличались протоклоны ЧК 2-21 и ЧК 1-10. У протоклона ЧК 2-21 урожайность была наибольшей и составляла 7,8 кг/куст, у ЧК 1-10 – 6,9 кг/куст.

Таким образом, в условиях повышенной солнечной инсоляции и острого дефицита атмосферных осадков на всех этапах изучения сохранялись стабильно высокие агробиологические показатели и продуктивность винограда у протоклона ЧК 1-10. В первом и втором вегетативном потомствах он показал высокие значения продуктивности. Протоклон ЧК 2-21 проявил себя высокими агробиологическими показателям и продуктивностью во втором потомстве в оба срока изучения (таблица 2, 3).

Таблица 2 – Агробиологические свойства протоклонов сорта Каберне Совиньон
Table 2 – Agro-biological properties of Cabernet Sauvignon protoclones

Прото-клоны / Protoclones	Количество побегов / Number of shoots			Нераспустившихся глазков, % / Unopened, %	Количество побегов, шт./куст / Number of shoots, pcs /bush			Количество гроздей, шт./куст / Number of clusters, pcs/bush	К1	К2
	всего, шт./куст / total, pcs/ bush	плодоносных, шт./куст / fruit-bearing, pcs / bush	плодоносных, % / fertile, %		с 1 гроздью / with one bunch	с 2 гроздями / with two bunches	с 3 гроздями / with three bunches			
Первое вегетативное потомство, АЗОСВиВ, 2014-2016 гг. / First vegetative offspring, AZOSViV, 2014-2016										
ЧК 1-80	19	18	95,7	15,2	3	14	1	33	1,77	1,85
ЧК 1-77	15	14	91,3	17,5	2	11	0	26	1,70	1,86
ЧК 1-10	21	18	85,4	10,4	5	12	1	31	1,50	1,75
ЧК 8-38	17	13	72,7	13,0	5	7	1	20	1,17	1,61
ЧК 7-69	16	11	69,3	25,4	4	8	0	18	1,14	1,65
ЧК 3-75	20	12	59,8	21,8	5	7	0	19	0,94	1,57
ЧК 3-58	18	8	44,6	20,1	5	3	0	11	0,63	1,41
ЧК 2-33	17	8	49,8	28,4	3	4	1	14	0,83	1,67
ЧК 2-21	17	12	71,8	18,1	6	6	0	18	1,07	1,49
Среднее / Average	18	13	71,1	18,9	4	8	0	21	1,19	1,65
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2015-2016 гг. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2015-2016										
ЧК 3-58	31	23	76,6	0,0	13	11	1	37	1,20	1,57
ЧК 8-38	18	17	96,0	1,8	5	8	4	35	1,90	1,98
ЧК 2-21	26	24	94,7	0,8	7	14	3	44	1,71	1,81
ЧК 1-10	26	26	100,0	0,0	10	10	2	39	1,54	1,54
ЧК 1-77	23	22	98,5	0,5	6	11	3	41	1,80	1,83
Среднее / Average	25	23	93,2	0,6	8	11	2	39	1,63	1,75
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2025 г. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2025										
ЧК 2-21	46	32	68,1	10,3	16	15	0	47	1,01	1,48
ЧК 8-38	59	42	70,6	3,8	31	11	0	52	0,89	1,26
ЧК 1-10	70	57	80,8	5,1	32	24	2	84	1,19	1,48
Среднее / Average	58	43	73,2	6,4	26	17	1	61	1,03	1,41

Таблица 3 – Продуктивность протоклонов сорта Каберне Совиньон
Table 3 – Productivity of Cabernet Sauvignon protoclones

Протоклоны / Protoclones	Средняя масса грозди, г / Average weight of a bunch, g	Продуктивность побега, кг/побег / Shoot productivity, kg/shoot	Урожайность, кг/куст / Yield, kg/bush
Первое вегетативное потомство, АЗОСВиВ, 2014-2016 гг. / First vegetative offspring, AZOSViV, 2014-2016			
ЧК 1-80	100,50	0,17	3,2
ЧК 1-77	102,50	0,17	2,6
ЧК 1-10	93,00	0,14	2,9
ЧК 8-38	145,00	0,15	2,5
ЧК 7-69	102,67	0,11	1,8
ЧК 3-75	94,67	0,08	1,7
ЧК 3-58	78,00	0,05	0,9
ЧК 2-33	70,50	0,06	0,9
ЧК 2-21	80,67	0,09	1,4
Среднее / Average	96,39	0,11	2,0
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2015-2016 гг. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2015-2016			
ЧК 3-58	79,50	0,10	3,1
ЧК 8-38	184,50	0,26	4,6
ЧК 2-21	92,00	0,16	4,2
ЧК 1-10	89,50	0,14	3,6
ЧК 1-77	89,00	0,17	3,8
Среднее / Average	106,90	0,17	3,9
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2025 г. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2025			
ЧК 2-21	143,55	0,17	7,8
ЧК 8-38	120,39	0,10	5,8
ЧК 1-10	70,56	0,10	6,9
Среднее / Average	111,50	0,12	6,9

У сорта Саперави со стабильно высокими агробиологическими показателями и продуктивностью выделен протоклон ЧС 24-44. В первом потомстве у ЧС 24-44 количество плодоносных побегов было выше, чем среднее значение на 38 %, гроздей на 33 %, К1 на 6 %, масса грозди на 13 %, продуктивность побега на 33 %, урожайность с куста на 50 %.

Во втором поколении в первый срок наблюдений выше средних значений были показатели по количеству плодоносных побегов на 17 %, гроздей на 25 %, К1 на 7 %, К2 на 4 %, массе грозди на 0,2 %, продуктивности побега на 11 %, урожайности на 21 %. Аналогичная закономерность наблюдалась во второй срок наблюдений. Превышение относительно средних значений было по количеству плодоносных побегов на 12 %, гроздей на 11 %, К1 на 2 %, по массе грозди на 7 %, продуктивности побега на 17 % и урожайности на 27 %.

Высокими показателями в первом и втором вегетативном потомстве (первый срок наблюдений) также отличались протоклоны ЧС 31-28 и ЧС 44-14. Во втором вегетативном потомстве во второй срок наблюдений они снизили значения по агробиологическим показателям и продуктивности.

Таким образом у сорта Саперави со стабильно высокими агробиологическими показателями и продуктивностью в первом и втором вегетативном потомстве (первый и второй сроки наблюдений) выделяется протоклон ЧС 24-44. Протоклоны ЧС 31-28 и ЧС 44-14 при нестабильных агробиологических показателях и продуктивности в динамике нуждаются в дальнейшем изучении (таблица 4, 5).

Таблица 4 – Агробиологические свойства протоклонов сорта Саперави
Table 4 – Agrobiological properties of Saperavi grade protoclones

Протоклоны / Protoclones	Количество побегов, шт./куст / Number of shoots	Количество плодоносных побегов, шт./куст / Number of fruit-bearing shoots, pcs/bush	Плодоносных побегов, % / Fruitful shoots, %	Нераспустившихся глазков, % / Unopened, %	Количество побегов, шт./куст / Number of shoots, pcs /bush			Количество гроздей, шт./куст / Number of clusters, pcs/bush	К1	К2
					с 1 гроздью / with one bunch	с 2 гроздями / with two bunches	с 3 гроздями / with three bunches			
Первое вегетативное потомство, АЗОСВиВ, 2014-2016 гг. / First vegetative offspring, AZOSViV, 2014-2016										
ЧС 28-12	13	8	67,3	8,9	4	4	0	13	1,03	1,57
ЧС 31-28	13	8	60,1	22,3	4	6	0	13	0,98	1,56
ЧС 28-18	11	7	54,5	26,4	5	2	1	10	0,88	1,42
ЧС 44-14	16	14	86,3	6,7	4	10	0	24	1,43	1,69
ЧС 24-44	15	11	72,7	21,8	6	5	0	16	1,04	1,46
ЧС 24-14	13	8	58,4	21,9	3	5	0	13	0,95	1,63
ЧС 32-45	9	4	32,4	31,1	2	3	0	7	0,75	1,70
ЧС 22-72	11	6	48,0	39,9	5	3	0	9	0,79	1,43
ЧС 21-22	8	5	40,7	42,3	2	4	0	8	0,97	1,81
Среднее / Average	12	8	57,8	24,6	4	5	0	12	0,98	1,58
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2015-2016 гг. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2015-2016										
ЧС 31-28	19	13	63,8	0,0	8	5	2	21	1,09	1,63
ЧС 21-22	9	9	85,0	0,0	4	4	1	15	1,67	1,72
ЧС 44-14	19	14	73,1	0,0	8	5	1	23	1,24	1,62
ЧС 22-72	12	11	58,0	9,2	4	6	1	18	1,52	1,74
ЧС 24-44	16	14	72,7	0,0	5	9	1	25	1,51	1,75
Среднее / Average	15	12	70,5	1,8	6	6	1	20	1,41	1,69
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2025 г. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2025										
ЧС 31-28	70	48	68,1	2,8	27	20	1	70	1,00	1,46
ЧС 44-14	55	47	85,5	3,5	27	19	2	69	1,25	1,46
ЧС 24-44	71	57	80,2	3,9	32	24	1	82	1,16	1,45
Среднее / Average	65	51	77,9	3,4	29	21	1	74	1,14	1,46

Таблица 5 – Продуктивность протоклонов сорта Саперави
Table 5 – Productivity of Saperavi grade protoclones

Протоклоны / Protoclones	Средняя масса грозди, г / Average weight of a bunch, g	Продуктивность побега, кг/побег / Shoot productivity, kg/shoot	Урожайность, кг/куст / Yield, kg/bush
Первое вегетативное потомство, АЗОСВиВ, 2014-2016 гг. / First vegetative offspring, AZOSViV, 2014-2016			
ЧС 28-12	82,50	0,07	0,9
ЧС 31-28	123,67	0,11	1,4
ЧС 28-18	110,23	0,08	0,9
ЧС 44-14	99,50	0,14	2,4
ЧС 24-44	118,67	0,12	1,8
ЧС 24-14	108,67	0,09	1,3
ЧС 32-45	53,50	0,08	0,8
ЧС 22-72	131,50	0,09	1,0
ЧС 21-22	116,00	0,06	0, 5
Среднее / Average	104,91	0,09	1,2
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2015-2016 гг. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2015-2016			
ЧС 31-28	144,60	0,15	2,8
ЧС 21-22	157,50	0,23	2,0
ЧС 44-14	141,50	0,17	3,2
ЧС 22-72	135,00	0,20	2,4
ЧС 24-44	145,00	0,21	3,4
Среднее / Average	144,72	0,19	2,8
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2025 г. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2025			
ЧС 31-28	118,89	0,14	10,1
ЧС 44-14	88,46	0,18	9,7
ЧС 24-44	115,56	0,21	14,5
Среднее / Average	107,64	0,18	11,4

У протоклонов сорта Гранатовый четких закономерностей по агробиологическим показателям и продуктивности не установлено. В первом поколении все протоклоны погибли из-за повреждения филлоксерой, во втором поколении во второй срок наблюдений по совокупности положительных показателей выделяется протоклон ГЮ 11-4-2. Для выделения протоклонов сорта Гранатовый исследования необходимо продолжить (таблица 6, 7).

Таблица 6 – Агробиологические свойства протоклонов сорта Гранатовый
Table 6 – Agro-biological properties of protoclones of the Granatovyi variety

Протоклоны / Protoclones	Количество побегов, шт./куст / Number of shoots	Количество плодоносных побегов, шт./куст / Number of fruit-bearing shoots, pcs./bush	Плодоносных побегов, % / Fruitful shoots, %	Нераспустившихся глазков, % / Unopened, %	Количество побегов, шт./куст / Number of shoots, pcs /bush			Количество гроздей, шт./куст / Number of clusters, pcs./bush	К1	К2
					с 1 гроздью / with one bunch	с 2 гроздями / with two bunches	с 3 гроздями / with three bunches			
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2025 г. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2025										
ГЮ 11-4-2	60	47	78,33	0,00	22	25	0	73	1,21	1,54
ГЮ 11-5-49	54	39	72,43	4,80	26	13	0	52	0,97	1,34
Среднее / Average	55	42	77,19	4,07	21	20	1	64	1,17	1,51

Таблица 7 – Продуктивность протоклонов сорта Гранатовый
Table 7 – Productivity of protoclones of the Granatovyi variety

Протоклоны / Protoclones	Средняя масса грозди, г / Average bunch weight, g	Продуктивность побега, кг/побег / Shoot productivity, kg/shoot	Урожайность, кг/куст / Yield, kg/bush
Второе вегетативное потомство, АФ Южная, 2025 г. / Second vegetative offspring, AF Yuzhnaya, 2025			
ГЮ 11-4-2	170,07	0,209	12,520
ГЮ 11-5-49	182,45	0,204	10,940
Среднее / Average	157,04	0,195	10,717

Заключение. Оценка протоклонов сортов винограда Каберне Совиньон, Саперави и Гранатовый выполнена в двух вегетативных потомствах в нестабильных погодных условиях умеренно континентального климата Северо-Западного Предкавказья. В условиях повышенной солнечной инсоляции и дефицита атмосферных осадков на всех этапах изучения сохранялись стабильно высокие агробиологические показатели и продуктивность винограда у протоклона ЧК 1-10 сорта Каберне Совиньон и ЧС 24-44 сорта Саперави. Протоклоны в первом и втором вегетативном потомствах во все сроки наблюдений показали высокие значения по агробиологии и продуктивности. У протоклона ЧК 1-10 во втором вегетативном потомстве во второй срок наблюдений количество плодоносных побегов было наибольшим, 57 шт./куст, что на 33 % выше средней величины. По количеству гроздей превышение средних значений было 38 %, по К1 – 16 %, по К2 – 5 %. Урожайность составляла 6,9 кг/куст. У протоклона ЧС 24-44 превышение относительно средних значений было по количеству плодоносных побегов на 12 %, гроздей на 11 %, К1 на 2 %, по массе грозди на 7 %, продуктивности побега на 17 % и урожайности на 27 %.

Conclusions. The protoclones of the Cabernet Sauvignon, Saperavi and Granatovyi grape varieties were evaluated in two vegetative descendent in unstable weather conditions of the temperate continental climate of the Northwestern Ciscaucasia. In conditions of increased solar insolation and precipitation deficiency, consistently high agro-biological indicators and grape productivity were maintained at all stages of the study in the CHK 1-10 Cabernet Sauvignon and CHS 24-44 Saperavi grape varieties. Protoclones in the first and second vegetative progeny showed high values in terms of agrobiology and productivity at all observation periods. In protoclone CHK 1-10, in the second vegetative descendent during the second observation period, the number of fertile shoots was the highest, 57 pcs/bush, which is 33 % higher than the average value. In terms of the number of bunches, the excess of the average values was 38 %, for K1 – 16 %, for K2 – 5 %. The yield was 6.9 kg/bush. In the CHS 24-44 protoclone, the excess relative to the average values was in the number of fertile shoots by 12 %, bunches by 11 %, K1 by 2 %, in the mass of the bunch by 7 %, shoot productivity by 17 % and yield by 27 %.

Библиографический список

1. Борисенко М. Н., Студенникова Н. Л., Котоловець З. В. Изучение биотипов в популяции винограда сорта Бастардро Магарачский. Виноградарство и виноделие. 2015. №. 3. С. 60-61.
2. Виноградарство. М.: Изд-во МСХА, 2017. 500 с.
3. Студенникова Н. Л., Котоловець З. В., Авидзба А. М., Лиховской В. В. Изучение протоклонов первого вегетативного поколения сорта винограда Цитронный Магарача. Виноградарство и виноделие. 2022. № 24 (4). С. 308-314.
4. Клименко В. П. Генетическая интерпретация клоновой селекции винограда. Виноградарство и виноделие, 2019. № 21 (4). С. 282-288.
5. Клименко В. П., Студенникова Н. Л., Котоловець З. В. Выделение и изучение биотипов в популяции сорта винограда Цитронный Магарача. Виноградарство и виноделие. 2014. № 3. С. 5-6.
6. Левченко С. В., Васылык И. А., Кононова Н. Н. Качество виноматериалов из винограда клонов сортов Мускат розовый и Бастардо магарачский 2000-2001 гг. урожая. Виноградарство и виноделие. 2003. № 4. С.12-14.
7. 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.
8. Петров В. С. и др. Улучшение агробиологических свойств сорта винограда Саперави методом клоновой селекции в условиях Тамани. Плодоводство и виноградарство Юга России. 2011. № 8. С. 12-16.
9. Разгонова О. В. Совершенствование сортимента винограда Южного берега Крыма путем клоновой селекции аборигенных сортов. Виноградарство и виноделие. 2014. № 3. С. 9-10.
10. Procino S., Miazzi M. M., Savino V. N., La Notte P., Venerito P., D'Agostino N., Taranto F., Montemurro C. Genome Scan Analysis for Advancing Knowledge and Conservation Strategies of Primitivo Clones (Vitis vinifera L.). Plants. 2025. No 14. Art. 437.
11. Miazzi Monica et al. The IVC breeding program: development of new seedless table grapevines for a sustainable viticulture. Acta Horticulturae. 2024. Pp. 59-64.

12. Ibáñez J. et al. Vine and clonal breeding programs in Spain. Vine breeding programs for the wine industry. 2015. Pp. 183-209.
13. Mairata A. et al. Comparison of selection criteria for the selection of vine clones by water use efficiency. Agronomy. 2022. V. 12. No 8. Art. 1963.
14. Reynolds A. G. Vine breeding in France – a historical perspective. Vine breeding programs for the wine industry. Woodhead Publishing House, 2015. Pp. 65-76.
15. Dalla Costa L. et al. The current state of vine biotechnology and new breeding technologies (NBS). 2019. V. 53. No 2. Pp. 189-212.
16. Ruehl E. et al. Vine breeding programs in Germany. Vine breeding programs for the wine industry. Woodhead Publishing House, 2015. Pp. 77-101.
17. Aslan Kürşat et al. Clonal selection in Horoz Karasi grape cultivar. 2018. No 47. Pp. 343-353.
18. Клименко В. П. Генетическая интерпретация клоновой селекции винограда. Виноградарство и виноделие. 2019. № 21 (4). С. 282-288.
19. Петров В. С., Алейникова Г. Ю., Марморштейн А. А. Методы исследований в виноградарстве. Краснодар: ФГБНУ СКФНЦСВВ, 2021. 147 с.

References

1. Borisenko M. N., Studennikova N. L., Kotolovets Z. V. Study of biotypes in the population of Bastardro Magarachsky grapes. Viticulture and winemaking. 2015. No 3. Pp. 60-61.
2. Viticulture: Textbook for universities. M.: Publishing House of the Ministry of Agriculture, 2017. 500 p.
3. Studennikova N. L., Kotolovets Z. V., Avidzba A. M., Likhovskoi V. V. Study of the protocones of the first vegetative generation of the Citron Magarach grape variety. Viticulture and winemaking. 2022. No 24 (4). Pp. 308-314.
4. Klimenko V. P. Genetic interpretation of clone grape breeding. Viticulture and Winemaking. 2019. No 21 (4). Pp. 282-288.
5. Klimenko V. P., Studennikova N. L., Kotolovets Z. V. Isolation and study of biotypes in the population of the Citron Magarach grape variety. Viticulture and winemaking. 2014. No 3. Pp. 5-6.
6. Levchenko S. V., Vasylyk I. A., Kononova N. N. The quality of wine materials from grapes of clones of Muscat pink and Bastardo Magarachsky varieties of 2000-2001 harvest. Viticulture and winemaking. 2003. No 4. Pp.12-14.
7. Ilnitskaya E. T. et al. Improvement of grape sorting and breeding methods for unstable climatic conditions in southern Russia. Winemaking and viticulture. 2016. No 4. Pp. 36-41.
8. Petrov V. S. et al. Improving the agro-biological properties of the Saperavi grape variety by clone breeding in the conditions of Taman. Fruit growing and viticulture in the South of Russia. 2011. No 8. Pp. 12-16.
9. Razgonova O. V. Improvement of grape sorting on the Southern coast of Crimea by clone breeding of native varieties. The magician. Viticulture and winemaking. 2014. No 3. Pp. 9-10.
10. Procino S., Miazzi M. M., Savino V. N., La Notte P., Venerito P., D'Agostino N., Taranto F., Montemurro C. Genome Scan Analysis for Advancing Knowledge and Conservation Strategies of Primitivo Clones (Vitis vinifera L.). Plants. 2025. No 14. Art. 437.
11. Miazzi Monica et al. The IVC breeding program: development of new seedless table grapevines for a sustainable viticulture. Acta Horticulturae. 2024. Pp. 59-64.
12. Ibáñez J. et al. Vine and clonal breeding programs in Spain. Vine breeding programs for the wine industry. 2015. Pp. 183-209.
13. Mairata A. et al. Comparison of selection criteria for the selection of vine clones by water use efficiency. Agronomy. 2022. V. 12. No 8. Art. 1963.
14. Reynolds A. G. Vine breeding in France – a historical perspective. Vine breeding programs for the wine industry. Woodhead Publishing House, 2015. Pp. 65-76.
15. Dalla Costa L. et al. The current state of vine biotechnology and new breeding technologies (NBS). 2019. V. 53. No 2. Pp. 189-212.
16. Ruehl E. et al. Vine breeding programs in Germany. Vine breeding programs for the wine industry. Woodhead Publishing House, 2015. Pp. 77-101.
17. Aslan Kürşat et al. Clonal selection in Horoz Karasi grape cultivar. 2018. No 47. Pp. 343-353.
18. Klimenko V. P. Genetic interpretation of clone grape breeding. Viticulture and winemaking. 2019. No 21 (4). Pp. 282-288.
19. Petrov V. S., Aleynikova G. Yu., Marmorstein A. A. Research methods in viticulture. Krasnodar: FGBNU SKFNTSSVV, 2021. 147 p.

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
Антонян Анна Кареновна, младший научный сотрудник, 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, студент, 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
Кожевников Евгений Анатольевич, аспирант, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия (Российская Федерация, 350901, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39), e-mail: zhenya.kozhevnikov.2017@bk.ru
Козина Татьяна Дмитриевна, аспирант, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия (Российская Федерация, 350901, г. Краснодар, ул. 40-летия Победы, 39), e-mail: tiaanta@yandex.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
Antonyan Anna Karenovna, Junior Researcher, 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, Student, 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
Kozhevnikov Evgeny Anatolyevich, Junior Researcher, postgraduate student, North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking (Russian Federation, 350901, Krasnodar, 40-Letiya Pobedy str., 39), e-mail: zhenya.kozhevnikov.2017@bk.ru
Kozina Tatiana Dmitrievna, Junior Researcher, postgraduate student, North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking (Russian Federation, 350901, Krasnodar, 40-Letiya Pobedy str., 39), e-mail: tiaanta@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-11

THE CARROT WATER CONSUMPTION AND YIELD IN THE SOUTHERN RUSSIA DARK BROWN SOILS CONDITIONS

[1]Petrov N. Y., [3]Denisov K. E., [2]Petrov Yu. N., [3]Solodovnikov A. P., [2]Kalmykova E. V., [1]Eremenko V. D., [1]Gorbacheva A. S.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]FGBNU Agroecology, integrated land Reclamation and protective Afforestation
Volgograd, Russian Federation
[3]Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov
Saratov, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 14.03.2026 Submitted 22.05.2026

The study was carried out within the framework of the State assignment "Theoretical foundations and methodology for assessing the greenhouse gas balance in freshwater reservoirs in the arid conditions of southern Russia." FNFE number – 2025-0012.

Abstract

Introduction. In recent years of the development of the vegetable growing industry, its characteristic feature is the widespread introduction of advanced technologies using drip irrigation, the introduction and adaptation of modern (more often foreign) hybrids of table carrots, optimization of the nutrient and water regime system, protection of table carrots from diseases and pests, sufficient provision of energy for vegetable growers and the establishment of modern market relations, it is necessary comprehensive scientific support of all processes of cultivation of this crop without exception**. Object.** As a study, 3 hybrids of table carrots were taken: Cordoba (control), Caspian and Office. Doses of mineral nutrition were applied for yields: 80, 100 and 120 t/ha under drip irrigation conditions with maintenance of an irrigation regime of 80-80-70 % HB. **Materials and methods.** The field experiment was conducted in the fields of IP "Neshpor AA", located in the territory of the Nikolaevsky district of the Volgograd region. **Results and conclusions.** The conducted research over two years in the Volgograd Trans-Volga region allowed us to establish that drip irrigation had a significant impact on the formation of yields of table carrots against the background of the introduction of calculated doses of mineral nutrition. It was found that the maximum yield of the studied crop was obtained on a hybrid of Offices when applying $N_{300}P_{150}K_{550}$. If on variants without the use of mineral fertilizers, yields ranged from 79.89 t/ha (hybrid Cordoba, yield level 80 t/ha) to 89.50 t/ha (hybrid Office, yield level 100 t/ha), then when applying $N_{300}P_{150}K_{550}$, yields increased accordingly from 105.51 t/ha (hybrid Cordoba, yield level of 100 t/ha) to 118.55 t/ha (hybrid Office, yield level of 100 t/ha).

Keywords: *carrots, carrot water consumption, carrot cultivation conditions, carrot yield.*

Citation. Petrov N. Yu., Denisov K. E., Petrov Yu. N., Solodovnikov A. P., Kalmykova E. V., Eremenko V. D., Gorbacheva A. S. The carrot water consumption and yield in the southern Russia dark brown soils conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 107-112 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-11.
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 635.132:631.671(470.44/.47)

ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ СТОЛОВОЙ МОРКОВИ В ЗОНЕ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ЮГА РОССИИ

[1]**Петров Н. Ю.**, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]**Денисов К. Е.**, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Петров Ю. Н.**, *кандидат сельскохозяйственных наук*
[3]**Солодовников А. П.**, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Калмыкова Е. В.**, *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[1]**Еременко В. Д.**, *аспирант*
[1]**Горбачева А. С.**, *кандидат экономических наук, доцент*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова»
г. Саратов, Российская Федерация

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

Актуальность. В последние годы развития отрасли овощеводства характерной чертой является повсеместное внедрение передовых технологий с применением капельного орошения, интродукция и адаптация современных (чаще иностранных) гибридов столовой моркови, оптимизация системы питания и водного режима, защиты моркови столовой от болезней и вредителей, достаточное обеспечение овощеводов энерговооруженностью и построение современных рыночных отношений; необходимо всеобъемлющее научное сопровождение всех без исключения процессов возделывания данной культуры. **Объект**. В качестве объекта изучения использовали 3 гибрида столовой моркови: Кордоба (контроль), Каспий и Контор. Применяли дозы внесения минеральных удобрений под планируемую урожайность 80, 100 и 120 т/га в условиях капельного орошения с поддержанием режима полива 80-80-70 % НВ. **Материалы и методы.** Полевой опыт был проведен на полях ИП «Нешпор А. А.», находящегося на территории Николаевского района Волгоградской области. **Результаты и выводы.** Проведенные в течение двух лет в Волгоградском Заволжье исследования позволили установить, что капельное орошение оказало значительное влияние на формирование урожайности столовой моркови на фоне внесения расчетных доз минеральных удобрений. Установлено, что максимальная урожайность изучаемой культуры получена на гибриде Контор при внесении $N_{300}P_{150}K_{550}$. Если на вариантах без применения минеральных удобрений урожайность формировалась в пределах от 79,89 т/га (гибрид Кордоба, урожайность 80 т/га) до 89,50 т/га (гибрид Контор, урожайность 100 т/га), то при внесении $N_{300}P_{150}K_{550}$ урожайность возрастала от 105,51 т/га (гибрид Кордоба, урожайность 100 т/га) до 118,55 т/га (гибрид Контор, урожайность 100 т/га).

Ключевые слова: *морковь столовая, водопотребление столовой моркови, условия возделывания столовой моркови, урожайность столовой моркови.*

Цитирование. Петров Н. Ю., Денисов К. Е., Петров Ю. Н., Солодовников А. П., Калмыкова Е. В., Еременко В. Д., Горбачева А. С. Водопотребление и урожайность столовой моркови в зоне каштановых почв юга России. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 107-112. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-11.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Проблема разработки научных основ высокоэффективного экологически рационального использования и развития капельного орошения в Волго-Донском междуречье на базе освоения водосберегающих технологий орошения моркови, позволяющих повысить отдачу поливного гектара, является одной из наиболее актуальных [3].

Как указывали [3, 4], рост общего валового производства моркови является одной из важнейших государственных задач. Кроме потребления в свежем виде, существенная ее часть перерабатывается в соления, маринады, консервы, соки. Корнеплоды моркови – признанные лидеры данной продукции по содержанию витамина А, количество которого колеблется от 7 до 13 мг% на 100 грамм, а в современных гибридах его содержание возрастает до 40 мг% на 100 грамм. Чтобы обеспечить минимальную суточную потребность

человеческого организма в этом витамине, необходимо ежедневно потреблять до 30 г корнеплодов моркови. Кроме того, в корнеплодах содержатся и другие не менее важные витамины, такие как B_1, B_2, B_9, С, К, Р.

По материалам службы статистики, Волгоградская область на 2024 год [1, 9] занимает лидирующее положение по посевным площадям столовой моркови. В данном регионе она возделывалась на площади 4,5 тыс. гектаров, что в долевом участии от всех посевных площадей области составило порядка 24 % от всех плантаций овощных культур, выращиваемых в открытом грунте (20 тыс. га).

В целях повышения эффективности использования орошаемых площадей, как указывали коллеги [2, 5, 11], в настоящее время актуально рациональное внедрение современных прогрессивных технологических элементов. Главной составляющей этого станут активно внедряемые режимы капельного полива. Такое новшество даст основание не только формировать высокие и устойчивые урожаи, но и позволит постепенно перейти к современным перспективным технологиям производства столовой моркови.

В работах Н. Ю. Петрова и Е. В. Калмыковой указывалось, что по валовым объемам произведенной столовой моркови Волгоградская область на протяжении многих лет занимает лидирующие позиции. Доля Волгоградского региона в общем валовом сборе в Российской Федерации составляет более 25 %. Но этого прироста на сегодняшний день мало, необходимо продолжать поиск новых путей совершенствования технологий выращивания столовой моркови, направленных не только на рост урожайности, но и на повышение качества произведенной продукции [5, 6, 7].

Материалы и методы. Опытные исследования были проведены на полях ИП «Нешпор А. А.», расположенного на территории Николаевского района Волгоградской области. Почвы опытного участка: 19,2 мг-экв./100 г почвы, содержание (по Керсанову) NO_3 – 53,0, P_2O_5 – 27,8, K_2O – 311,4 мг/кг почвы.

Расчет применения минеральных удобрений осуществлялся на планируемые урожайности 80,0; 100,0 и 120,0 т/га, по методике, разработанной на опытной станции по программированию урожая Волгоградского СХИ.

Опыты проводились в 2024-2025 годах.

Способ посева моркови – ленточный, четырехстрочный. Норма посева составляла 850 тыс. растений на гектар, что соответствовало норме высева 4 кг/га.

Варианты опыта: фактор А – гибриды.

A_1 – Кордоба (контроль);

A_2 – Каспий;

A_3 – Контор.

Фактор В – дозы удобрений, рассчитанные на получение:

B_1 – 80 т/га – $N_{240}P_{120}K_{440}$;

B_2 – 100 т/га – $N_{300}P_{150}K_{550}$;

B_2 – 120 т/га – $N_{360}P_{820}K_{660}$.

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

В течение вегетации 2024 года было проведено 27 поливов, а в 2025 году был проведен 31 полив.

Результаты и обсуждения. Глобальной проблемой сельскохозяйственного производства выступает такая категория как правильное использование орошаемых площадей. К таковым относятся земли, которые используются для производства овощной продукции. Причин, которые неблагоприятно влияют на качество орошаемых площадей, много – это засоление почв по итогам хозяйственной деятельности человека, эрозионные процессы, опустынивание, бесконтрольное или неправильное использование удобрений, истощение почв и потеря органики – гумуса и другие. Решение их возможно с внедрением ресурсосберегающих технологий в овощеводстве открытого грунта, восполнением и сохранением плодородия и физико-химических свойств орошаемых площадей при эффективном производстве овощных культур, конкретно, высок адаптивных гибридов столовой моркови [6, 7].

То есть, конечным элементом выступает урожайность. Результаты исследований отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Режим орошения в посевах столовой моркови, $м^3$/га
Table 1 – Irrigation regime in table carrot crops, m^3/ha

Период развития / The development period	Год исследования / The year of the study		Среднее / Average
	2024	2025	
Посев / Sowing	284	312	298
Посев – 1-й лист / Sowing – 1st leaf	1253	1305	1279
1-й лист – формирование / 1st sheet – formation	1831	1926	1878
Формирование корнеплода – полегание / Root crop formation – lodging	3828	3942	3885
Оросительная норма / Irrigation rate	7196	7485	7340

Результаты проведенного опыта показали, что максимальное потребление воды растениями моркови было отмечено у всех гибридов в период формирования корнеплода, и оно достигало 3828 $м^3$/га в 2024 году и 3942 $м^3$/га в более засушливом 2025 году (в период формирования корнеплода и начала полегания листостебельной массы). Наименьшее потребление воды наблюдалось на первоначальных этапах развития моркови, диапазон колебаний по годам варьировал от 284 до 312 $м^3$/га.

Результирующим показателем экономической целесообразности возделывания сортовой моркови является ее урожайность, которая представлена в таблице 2

Таблица 2 – Урожайность моркови, т/га (среднее за 2024-2025 гг.)
Table 2 – Carrot yield, t/ha (average for 2024-2025)

Вариант опыта / Experiment options	Уровень урожайности / Yield level			Среднее / Average
	80	100	120	
Гибрид Кордоба / Cordoba hybrid				
Контроль / Control	76,35	83,19	80,15	79,89
$N_{240}P_{120}K_{440}$	94,76	100,57	96,09	97,14
$N_{300}P_{150}K_{550}$	101,53	108,71	106,29	105,51
$N_{360}P_{820}K_{660}$	96,18	104,28	102,54	101,00
Гибрид Каспий / Caspii hybrid				
Контроль / Control	81,38	88,26	83,16	84,26
$N_{240}P_{120}K_{440}$	103,38	110,92	107,50	107,26
$N_{300}P_{150}K_{550}$	111,08	117,62	113,28	113,87
$N_{360}P_{820}K_{660}$	106,14	114,51	111,97	110,87
Гибрид Контор / Kontor hybrid				
Контроль / Control	84,36	94,04	90,11	89,50
$N_{240}P_{120}K_{440}$	107,32	117,14	111,25	111,90
$N_{300}P_{150}K_{550}$	113,28	122,87	119,50	118,55
$N_{360}P_{820}K_{660}$	110,76	120,67	116,37	115,93

$НСР_{05}$ 2024 – 1,24 т/га; 2025 – 1,46 т/га.

Анализ полученных данных свидетельствует, что на вариантах без применения удобрений урожайность моркови формировалась только за счет поливной воды и естественного плодородия почвы. В результате на этих вариантах была получена наименьшая урожайность в пределах от 79,89 т/га (гибрид Кордоба) до 89,50 т/га (гибрид Контор). Применение минерального питания существенным образом отразилось на ее урожайности. При внесении $N_{240}P_{120}K_{440}$ урожайность возрастала до 97,14 т/га (гибрид Кордоба) и 111,90 т/га (гибрид Контор). Практически была выполнена программа по получению планируемой урожайности 80 т/га. От применения $N_{300}P_{150}K_{550}$ происходил дальнейший рост урожайности: она составила 105,51 (гибрид Кордоба) и 118,55 т/га (гибрид Контор). Была выполнена программа получения урожайности 120 т/га на гибриде Контор. Дальнейшее повышение доз вносимых удобрений до $N_{360}P_{820}K_{660}$ не приводило к повышению урожайности.

Заключение. Для получения урожайности столовой моркови на уровне 120 т/га, следует применять минеральные удобрения в дозе $N_{300}P_{150}K_{550}$. Применение этой дозы на гибриде Контор позволяет достичь урожайности 118,55 т/га.

Conclusion. To obtain a yield of table carrots at the level of 120 t/ha, it is necessary to apply mineral fertilizers at a dose of $N_{300}P_{150}K_{550}$. Its application on the Kontor hybrid allows to achieve a yield of 118.55 t/ha.

Библиографический список

1. Беляев А. И., Петров Н. Ю., Пугачева А. М., Петров Ю. Н., Зволинский С. В. Актуальное выращивание столовой моркови на юге России. Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2022. № 3 (53). С. 36-40.

2. Петров Н. Ю. и др. Влияние водного режима на урожайность столовой моркови в южном регионе. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 6 (84). С. 76-81.

3. Дубенок Н. Н., Пенькова Р. И. Влияние водного и питательного режимов на продуктивность моркови столовой при капельном орошении в условиях Нижнего Поволжья. Мелиорация и водное хозяйство. 2023. № 3. С. 10-16.

4. Дубенок Н. Н., Пенькова Р. И. Факторы эффективного использования водных ресурсов при капельном орошении моркови в условиях Нижнего Поволжья. Природообустройство. 2023. № 3. С. 23-30.

5. Петров Н. Ю., Калмыкова Е. В., Аксенов М. П., Зволинский С. В. Особенности возделывания столовой моркови в Волго-Донском междуречье. Аграрная Россия. 2022. № 5. С. 32-37.

6. Петров Н. Ю., Калмыкова Е. В., Аксенов М. П., Зволинский С. В. Влияние агротехнических приемов на структуру урожая столовой моркови в Волго-Донском междуречье. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 71-78.

7. Петров Н. Ю., Калмыкова Е. В., Аксенов М. П., Зволинский С. В. Особенности возделывания столовой моркови в Волго-Донском междуречье. Аграрная Россия. 2022. № 5. С. 32-37.

8. Заичкина М. А. и др. Предпосевная обработка почвы методом фиторекультивации при возделывании моркови. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в современных экономических условиях: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2021. Т. 3. С. 165-170.

9. de Carvalho D. F., Gomes D. P., Neto D. H. D., Guerra J. G. M., Rouws J. R. C., de Oliveira P. L. Carrot yield and water-use efficiency under different mulching, organic fertilization and irrigation levels. Revista Brasileira De Engenharia Agricola E Ambiental. 2018. V. 22. № 7. Pp. 445-450.

10. Hossain M. A., Islam M. S. (2020). Effect of different levels of nitrogen on the growth and yield of carrot (Daucus carota L.). Journal of Agriculture and Rural Development. 2020. No 18 (1). Pp. 27-34.

11. Carvalho D. F. Carrot yield and water use efficiency under different levels of mulching, organic fertilizers and irrigation. Renista Brasileira De Engenharia Agricola E Ambiental. 2018. V. 22. N. 7. Pp. 445-450.

12. Carvalho D. F. Yield, water use efficiency and yield coefficient of carrot harvest at different irrigation depths. Ciencia Rual. 2016. V. 46. N. 7. P. 1145-1150.

13. Pérez-López J. M., Hernández L., Viuda-Martos M., Fernández-López J. A., Pérez-Álvarez J. A. Effect of cultivation conditions on the chemical 164 composition and antioxidant properties of carrots. Journal of Food Science and Technology. 2017. No 54 (2). Pp. 406-414.

References

1. Belyaev A. I., Petrov N. Yu., Pugacheva A. M., Petrov Yu. N., Zvolinsky S. V. Actual cultivation of table carrots in the south of Russia. Theoretical and applied problems of agriculture. 2022. № 3 (53). Pp. 36-40.

2. Petrov N. Yu. et al. The influence of the water regime on the yield of table carrots in the southern region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2025. № 6 (84). Pp. 76-81.

3. Dubenok N. N., Penkova R. I. The influence of water and nutrient regimes on the productivity of table carrots under drip irrigation in the conditions of the Lower Volga region. Land reclamation and water management. 2023. No 3. Pp. 10-16.

4. Dubenok N. N., Penkova RI. Factors of effective use of water resources during drip irrigation of carrots in the conditions of the Lower Volga region. Environmental management. 2023. No 3. Pp. 23-30.

5. Petrov N. Yu., Kalmykova E. V., Aksenov M. P., Zvolinsky S. V. Peculiarities of table carrot cultivation in the Volga-Don interfluve. Agrarian Russia. 2022. No 5. Pp. 32-37.

6. Petrov N. Yu., Kalmykova E. V., Aksenov M. P., Zvolinsky S. V. The influence of agricultural techniques on the harvest structure of table carrots in the Volga-Don interfluve. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2022. No 1 (65). Pp. 71-78.

7. Petrov N. Yu., Kalmykova E. V., Aksenov M. P., Zvolinsky S. V. Peculiarities of table carrot cultivation in the Volga-Don interfluve. Agrarian Russia. 2022. No 5. Pp. 32-37.

8. Zaichkina M. A. et al. Pre-sowing tillage by phytorecultivation in carrot cultivation. Innovative technologies in the agro-industrial complex in modern economic conditions: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2021. V. 3. Pp. 165-170.

9. de Carvalho D. F., Gomes D. P., Neto D. H. D., Guerra H. G. M., Rose J. R. K., de Oliveira P. L. Carrot yield and water use efficiency at various levels of mulching, organic fertilizers and irrigation. Review of Brazilian agriculture and the environment. 2018. V. 22. No 7. Pp. 445-450.

10. Hossein M. A. and Islam M.S. The effect of different nitrogen levels on carrot growth and yield (Daucus carota L.). Journal of Agriculture and Rural Development. 2020. No 18 (1). Pp. 27-34.

11. Carvalho D. F. Carrot yield and water use efficiency at different levels of mulching, organic fertilizers and irrigation. Brazilian Journal Of Agricultural And Environmental Engineering. 2018. V. 22. N. 7. Pp. 445-450.

12. Carvalho D. F. Field, water use efficiency and carrot yield coefficient at different irrigation depths. Rual Science. 2016. V. 46. No 7. Pp. 1145-1150.

13. Perez-Lopez H. M., Hernandez L., Viuda-Martos M., Fernandez-Lopez H. A. and Perez-Alvarez H. A. The effect of growing conditions on the chemical composition and antioxidant properties of carrots. Journal of Food Science and Technology. 2017. No 54 (2). Pp. 406-414.

Информация об авторах

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

Денисов Константин Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по науке, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, Пр. Петра Столыпина, 4/3), e-mail: k.denisov@inbox.ru
Петров Юрий Николаевич, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97).
Солодовников Анатолий Петрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по науке, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова (Российская Федерация, 410012, г. Саратов, Пр. Петра Столыпина, 4/3),
Калмыкова Елена Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, главный 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: https://orcid.org/0000-0001-8530-9995, e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru
Еременко Вадим Дмитриевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).
Горбачева Анна Семеновна, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Authors' Information

Petrov Nikolay Yuryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: npetrov60@list.ru
Denisov Konstantin Evgenievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for 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
Petrov Yuri Nikolaevich, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97).
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).
Kalmykova Elena Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Head of 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: https://orcid.org/0000-0001-8530-9995, e-mail: kalmukova-ev@vfanc.ru
Eremenko Vadim Dmitrievich, Graduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).
Gorbacheva Anna Semenovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-12

THE EVAPOTRANSPIRATION MATHEMATICAL MODELING FOR THE IRRIGATED CROPS DIGITAL TWINS CONSTRUCTING IN THE SOUTHERN RUSSIA CONDITIONS

[1]Rogachev D. A., [2]Rogachev A. F.

[1]Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Moscow, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: rafr@mail.ru

Received 04.04.2026 Submitted 06.05.2026

Summary

For Russian conditions characterized by high moisture deficiency, significant spatial and temporal variability of meteorological factors and high dependence of yield on irrigation regime, the most significant factors of evapotranspiration are solar radiation, temperature, air humidity and wind speed. The central element of the digital twin is the mathematical model of evapotranspiration (*ET*). The use of a distributed network of sensors with remote transmission of readings will make it possible to move from the regulatory formation of the irrigation regime to adaptive control, including in real time.

Abstract

Introduction. Digital twins of irrigated crops are becoming a key tool for increasing water productivity, adapting agricultural systems to climate risks, and automating agricultural technology management. The South of Russia (Volgograd and Rostov regions, in contrast to the Central black-colored soils zone) belongs to the zone of risky agriculture with high values of potential evapotranspiration, which makes mathematical modeling of water consumption critically important. For the conditions of Southern Russia, characterized by high moisture deficiency, significant spatial and temporal variability of meteorological factors, and high dependence of yield on irrigation regime, the mathematical model of evapotranspiration (*ET*) is the central element of the digital twin. **Methodology and materials.** The purpose of the study is to develop a methodological basis for using the Penman-Monteith formula FAO-56 as the core of the digital twin of irrigated crops and to analyze the influence of the main ET factors for the Volgograd region, Rostov Region and the Cen-

tral dark-colored soils zone of the Russian Federation. The object of the study is the evapotranspiration of perennial irrigated crops (apple orchards as a representative model) grown in three zones of the Russian Federation. The FAO Penman-Monteith formula is used as a basic mathematical model. For subsequent analysis, the FAO-56 scheme was used, according to which the ET_0 reference evapotranspiration is calculated first and then the actual Kc evapotranspiration of the cultivated crop is determined. The FAO explicitly recommends this approach: weather conditions are included in ET_0, and crop properties are included in Kc. For drip irrigation, it is important that only part of the surface is wetted, so soil evaporation is lower than with sprinkling; the FAO describes this through decomposition into components and the proportion of the wetted surface. The main approach to analyzing the sensitivity of the evapotranspiration model was the one- and two-factor parametric method. For a systematic study of the sensitivity of the Penman-Monteith dependence, a one-factor parametric sensitivity analysis was used with values of other variables fixed at average levels, which corresponds to the engineering approach to constructing a digital twin. **Results and discussion.** Climate indicators, sensor data, and parametric sensitivity analysis were used. It is shown that the radiation balance, air temperature, steam pressure deficit, and wind speed have the greatest effect on *ET*. An engineering technique is proposed for practical use in digital irrigation control systems. The results are consistent with published research in the field of precision land reclamation, IoT agriculture, and digital counterparts of irrigated crops. In addition, the following combination of factors and methods can be recommended for the construction of a drip irrigation data center, providing an optimal balance of accuracy and engineering feasibility: "FAO-56 + IoT sensors + local regression + hydro-meteorological forecast". It has been established that the main factor of evapotranspiration is the level of solar radiation, relative humidity is the second most important factor, and wind speed is a secondary but rather significant factor. Linearized simplified models are acceptable for local irrigation management systems. The direction of further research is the integration of evapotranspiration models with artificial intelligence, remote sensing and IoT, which form the basis of a new generation of automated irrigation agricultural engineering systems. **Conclusions.** For Russian conditions, the most significant factors of evapotranspiration are solar radiation, temperature, air humidity and wind speed. Among the analyzed regions, the Volgograd Region is characterized by the greatest potential evapotranspiration, while the Central black-colored soils zone is the least. The use of a distributed network of sensors with remote transmission of readings will make it possible to move from the normative formation of the irrigation regime to adaptive control, including in real time.

Keywords: *digital twins, mathematical modeling of evapotranspiration, evapotranspiration, Penman-Monteith, drip irrigation, IoT, irrigation of agricultural crops.*

Citation. Rogachev D. A., Rogachev A. F. The evapotranspiration mathematical modeling for the irrigated crops digital twins constructing in the Southern Russia conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 112-121 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-12.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.67:004.9

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОРОШАЕМЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

[1]**Рогачев Д. А.,** *кандидат технических наук*
[2]**Рогачев А. Ф.,** *доктор технических наук, профессор*

[1]*ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова*
г. Москва, Российская Федерация
[2]*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ*
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Цифровые двойники орошаемых сельскохозяйственных культур становятся ключевым инструментом повышения водной продуктивности, адаптации агросистем к климатическим рискам и автоматизации управления агротехнологиями. Юг России (Волгоградская и Ростовская области), в отличие от Центрально-черноземной зоны, относится к зоне рискованного земледелия с высокими значениями потенциальной эвапотранспирации, что делает математическое моделирование водопотребления критически значимым. Для условий Юга России, характеризующихся высоким дефицитом влаги, значительной пространственно-временной изменчивостью метеофакторов и высокой зависимостью урожайности от режима орошения, центральным элементом цифрового двойника выступает математическая модель эвапотранспирации (*ET*). **Методы и материалы.** Цель исследования – разработка методологической основы использования формулы Пенмана-Монтейта FAO-56 как ядра цифрового двойника орошаемых культур и анализ влияния основных факторов *ET* для

Волгоградской области, Ростовской области и Центрально-черноземной зоны РФ. Объектом исследования является эвапотранспирация многолетних орошаемых сельскохозяйственных культур (яблоневые сады как репрезентативная модель), выращиваемых в трех зонах РФ. В качестве базовой математической модели использована формула FAO Penman-Monteith. Для последующего анализа использована схема FAO-56, согласно которой сначала рассчитывается эталонная эвапотранспирация ET_0, затем определяют фактическую эвапотранспирацию *Kc* возделываемой культуры. FAO прямо рекомендует этот подход: погодные условия входят в ET_0, а свойства культуры – в *Kc*. Для капельного орошения важно, что смачивается только часть поверхности, поэтому почвенное испарение ниже, чем при дождевании; FAO описывает это через разложение на компоненты и долю смоченной поверхности. Основным подходом анализа чувствительности модели эвапотранспирации являлся одно- и двухфакторный параметрический метод. Для системного исследования чувствительности зависимости Пенмана-Монтейта применялся однофакторный параметрический анализ чувствительности при фиксированных на средних уровнях значениях остальных переменных, что соответствует инженерному подходу к построения цифрового двойника. **Результаты и обсуждение.** Использованы климатические показатели, данные датчиков и параметрический анализ чувствительности. Показано, что наибольшее влияние на ET оказывают радиационный баланс, температура воздуха, дефицит давления пара и скорость ветра. Предложена инженерная методика для практического использования в цифровых системах управления поливом. Результаты согласуются с опубликованными исследованиями в области точной мелиорации, IoT-земледелия и цифровых двойников орошаемых культур. Кроме того, для построения ЦД капельного орошения может быть рекомендовано следующее сочетание факторов и методов, обеспечивающий оптимальный баланс точности и инженерной реализуемости «FAO-56 + IoT датчики + локальная регрессия + гидрометеопрогноз». Установлено, что главным фактором эвапотранспирации является уровень солнечной радиация, относительная влажность – второй по значимости фактор, а скорость ветра – вторичный, но достаточно значимый фактор. Для локальных систем управления орошением допустимы линеаризованные упрощенные модели. Направлением дальнейших исследований является интеграция моделей эвапотранспирации с искусственным интеллектом, средствами дистанционного зондированием и IoT, которые формирует основу нового поколения автоматизированных оросительных агроинженерных систем. **Выводы.** Для российских условий наиболее значимыми факторами эвапотранспирации являются солнечная радиация, температура, влажность воздуха и скорость ветра. Среди проанализированных регионов, Волгоградская область характеризуется наибольшей потенциальной эвапотранспирацией, Центрально-черноземная зона – наименьшей. Использование распределенной сети датчиков с дистанционной передачей показаний позволит перейти от нормативного формирования режима орошения к адаптивному управлению, в том числе в режиме реального времени.

Ключевые слова: *цифровые двойники, математическое моделирование эвапотранспирации, эвапотранспирация, Пенман-Монтейт, капельное орошение, IoT, орошение сельскохозяйственных культур.*

Цитирование. Рогачев Д. А., Рогачев А. Ф. Математическое моделирование эвапотранспирации для построения цифровых двойников орошаемых сельскохозяйственных культур в условиях Юга России. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 112-121. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-12.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие цифрового сельского хозяйства (Digital Agriculture) связано с переходом от традиционного нормативного управления агроценозами к динамическим киберфизическим системам, интегрирующим сенсоры, математические модели, облачную аналитику и исполнительные механизмы. Одним из наиболее перспективных направлений является создание цифровых двойников (ЦД) сельскохозяйственных культур – виртуальных моделей растений и агроэкосистем, обновляемых в реальном времени на основе данных технологических датчиков. Для орошаемого земледелия ЦД особенно важен, поскольку водный режим напрямую определяет урожайность; качество продукции; энергоемкость агротехнологий; риск вторичного засоления; устойчивость к климатическим экстремумам.

Юг России (Волгоградская и Ростовская области) относится к зоне рискованного земледелия с высокими значениями потенциальной эвапотранспирации, что делает математическое моделирование водопотребления критически значимым.

Современные исследования подтверждают ключевую роль моделей *ET* в точном орошении. В работах В. Бородычева, В. Бочарникова, Н. Дубенка, А. Овчинникова, Г. Ольгаренко, Б. Шумакова, В. Щедрина рассмотрены теоретические основы моделирования водопотребления и эвапотранспирации при возделывании сельскохозяйственных культур. Различные вопросы моделирования эвапотранспирации, в т. ч. при капельном орошении садов, исследованы в работах А. Ахмедова, А. Гемонова, Е. Мелиховой, В. Волосухина, Л. Кирейчевой, А. Кравчука, А. Хаджиди, В. Шкуры, А. Штанько, К. Шумаковой и других российских ученых. Среди зарубежных ученых, исследовавших данную проблему, можно отметить Pereira et al. (2015), Jones et al. (2017), Smith & Berengena (2020), Corwin & Lesch (2021).

Вопросами применения цифровых двойников, датчиков и IoT, а также методов ИИ и машинного обучения в управлении орошаемым земледелием и садоводством, посвящены исследования отечественных исследователей Е. Кузнецова, Л. Кирейчевой, В. Корсака, А. Куприянова, М. Лытова, Е. Мелиховой, Г. и И. Ольгаренко, Н. Пронько, И. Юрченко, а также зарубежных Zhang et al. (2022), Monteiro et al. (2023), Monteiro et al. (2023), Pylianidis et al. (2021), Liakos et al. (2018), Ferreira et al. (2024), Rodríguez et al. (2023).

Цифровые двойники, использующие математические модели орошаемых культур включают следующие уровни: Агрофизический: растение, почва, оросительная система; Инструментальный: метеостанции, почвенные датчики, расходомеры, тензометры, NDVI/дроны; Математическое обеспечение: модели *ET*, водного баланса, роста, продуктивности; Уровень управления: автоматизация полива и прогнозирование. В алгоритмическом ядре большинства ЦД орошаемых культур лежит расчет эвапотранспирации (*ET*), так как именно испарение и транспирация определяют водный спрос агрокультур.

Таким образом, несмотря на развитие *AI/ML*-подходов, физически интерпретируемые модели, прежде всего Пенмана-Монтейта (*PM)*, остаются наиболее надежной основой цифровых двойников благодаря объяснимости, стандартизованности, совместимости с датчиками, устойчивости к ограниченным объемам данных. Применение таких моделей в ЦД повышает их точность и интерпретируемость предиктивных рекомендаций, однако обоснование инженерной методики на ее основе, в том числе в составе специализированных ЦД, требует дополнительного исследования и научного обеспечения.

Методы и материалы. Объектом исследования является эвапотранспирация многолетних орошаемых сельскохозяйственных культур (яблоневые сады как репрезентативная модель), выращиваемых в трех зонах РФ – Волгоградская область; Ростовская область; Центрально-черноземная зона.

В качестве базовой математической модели использована формула FAO Penman-Monteith (*PM*, Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO, 1998), записанная в наглядной для проведения анализа и модификации форме [1]:

$$ET_0 = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma\,\frac{900}{T+273}\,u_2\,(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

где условные обозначения соответствуют аналогичным, использованным в работе [1].

При компьютерном моделировании удобнее использовать следующую форму зависимости (1)

$$ET_0 = [0.408\Delta(Rn-G)+\gamma(900/(T+273))u2(es-ea)] / [\Delta+\gamma(1+0.34u2)] \quad (2)$$

Фактическая *ET* культуры:

$$ETc = Kc \times Ks \times ET_0, \quad (3)$$

где *Kc* – коэффициент культуры; *Ks* – коэффициент водного стресса.

Физические параметры, инструментально измеряемые и используемые при моделировании эвапотранспирации с применением ЦД, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Измеряемые параметры, использованные при моделировании эвапотранспирации методом ЦД
Table 1 – Measured parameters used in the simulation of evapotranspiration by the CD method

Фактор / Factor	Обозначение / Designation	Единицы / Unit	Типичный диапазон / Typical range	Тип датчика / Sensor type
Температура воздуха / Air temperature	T	°C	-20…+50	Vaisala HMP155, Davis Vantage Pro2
Относительная влажность / Relative humidity	RH	%	0-100	Sensirion SHT35, Vaisala
Солнечная радиация / Solar radiation	Rs/Rn	Вт/м² или МДж/м²·сут.	0-1400	Kipp & Zonen CMP3
Атмосферное давление / Atmospheric pressure	P	кПа	80-110	Bosch BMP390
Влажность почвы / Soil moisture	θ	% объема	0-60	METER Group TEROS 12
Потенциал почвенной влаги / Soil moisture potential	ψ	кПа	0…-200	Irrometer Tensiometer
Температура почвы / Soil temperature	Ts	°C	-10…+50	DS18B20 industrial
Расход воды / Water flow	Q	л/ч или м³/ч	зависит от сети	Netafim flow meter
Скорость ветра / Wind speed	u2	м/с	0-60	RM Young 05103, Davis Anemometer
NDV состояние кроны / NDVI crown condition	NDVI	безр.	0-1	Sentinel-2, MicaSense

Для последующего анализа использована схема FAO-56: сначала рассчитывается эталонная эвапотранспирация ET_0, затем определяют ETc

$$ETc = Kc \times ET_0. \quad (4)$$

FAO прямо рекомендует этот подход: погодные условия входят в ET_0, а свойства культуры – в Kc. Для капельного орошения важно, что смачивается только часть поверхности, поэтому почвенное испарение ниже, чем при дождевании; FAO описывает это через разложение $Kc = Kcb + Ke$ и долю смоченной поверхности.

В качестве метода анализа чувствительности модели эвапотранспирации использовался одно- и двухфакторный параметрический подход. Для системного исследования чувствительности зависимости (1) применялся однофакторный параметрический анализ чувствительности при фиксированных на средних уровнях значениях остальных переменных (таблица 2), что соответствует инженерному подходу к построения цифрового двойника [2].

Таблица 2 – Почвенно-климатические показатели по агроклиматическим зонам
Table 2 – Soil and climatic indicators by agricultural climatic zones

Зона / The zone	*T*, °C	*RH*, %	u_2, м/с	*Rn*, МДж/м²·сут	*ETc*, мм/сут.
Волгоградская / Volgograd	22-25	45-60	3,5-5,5	16-24	5,5-7,5
Ростовская / Rostov	21-24	50-65	3,0-5,0	15-23	4,8-6,8
ЦЧЗ / CCHZ	18-22	55-75	2,5-4,5	13-21	3,8-5,8

Результаты и обсуждение.

Учет влияния основных факторов на испарение в цифровых двойниках орошаемых культур.

Согласно ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий», адекватность моделей ЦД определяется набором репрезентативных групп факторов, включая учитываемые в вычислительных системах (рисунок 1).

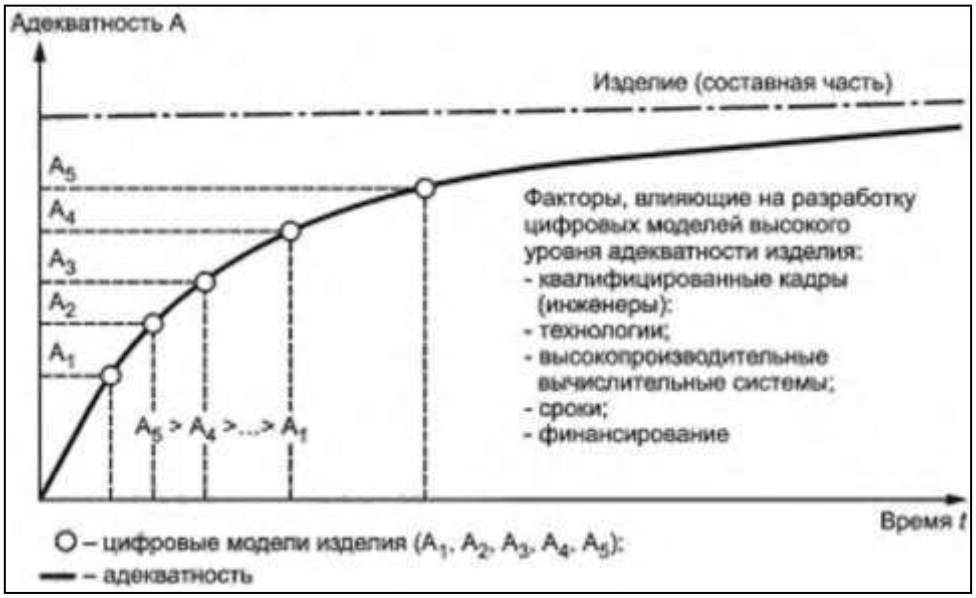
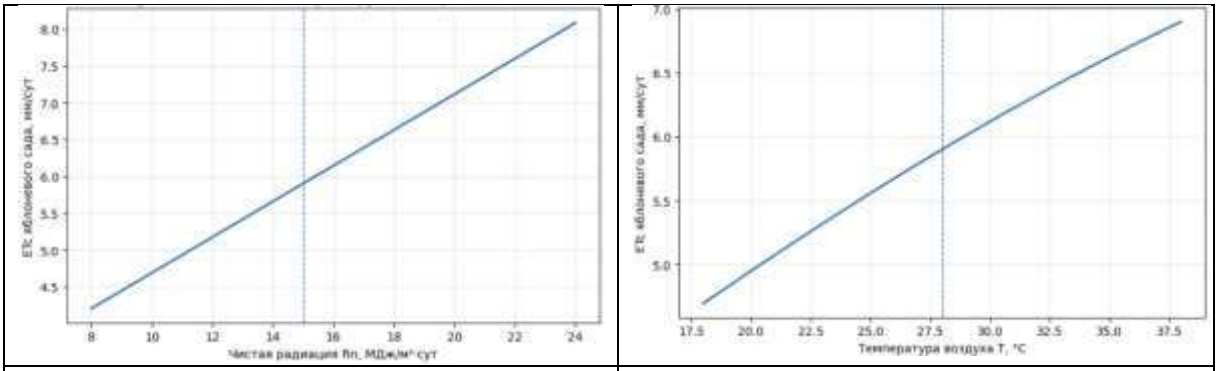


Рисунок 1 – Адекватность моделей ЦД [по материалам ГОСТ Р 57700.37-2021] /
Figure 1 – Adequacy of *DT* models [based on State Standart R 57700.37-2021]

Поэтому для построения ЦД эвапотранспирации в балансе водопотребления необходимо обосновать выбор факторов, наиболее существенно влияющих на моделируемую величину с учетом доли их влияния.



а)	б)

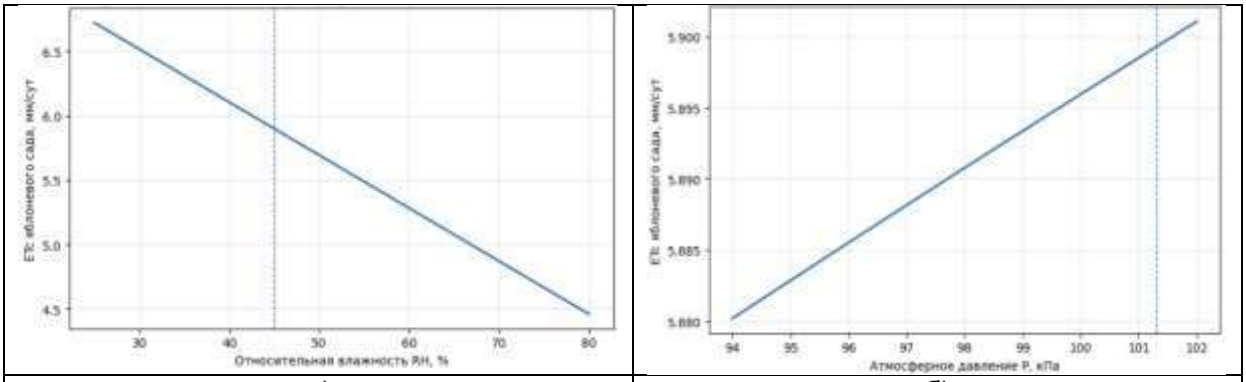
Рисунок 2 – Влияние природных факторов на *ETc*: а) чистая радиация; б) температура воздуха
Figure 2 – Influence of natural factors on *ETc*: a) pure radiation; b) air temperature

а) Радиация (*Rn*). Практически линейный рост *ET* с увеличением радиации. Наиболее сильный эффект в Волгоградской области (рисунок 2 а).

б) Температура (*T*). Рост температуры повышает давление насыщенного пара и VPD, увеличивая ET (рисунок 2б).

в) Относительная влажность (*RH)*. Рост *RH* снижает *ET*; наиболее выражено в засушливых регионах (рисунок 3 а).

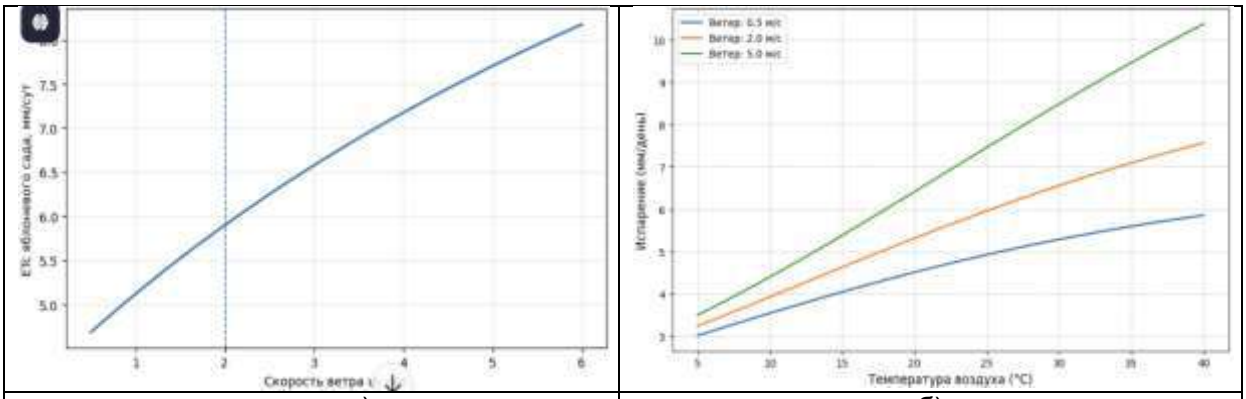
г) Атмосферное давление. Влияние атмосферного давления – умеренно положительное (рисунок 3б), особенно важно для открытых степных ландшафтов.



а)	б)

Рисунок 3 – Влияние природных факторов на *ETc*: а) Относительная влажность (*RH*); б) атмосферное давление
Figure 3 – Influence of natural factors on ETc: a) Relative humidity (RH); b) atmospheric pressure

Обобщая совокупность результатов однофакторного анализа чувствительности, можно представить двухфакторную диаграмму влияния наиболее значимых факторов, характеризующегося выраженной нелинейностью, особенно с изменением скорости ветра (рисунок 4).



а)	б)

Рисунок 4 – Влияние природных факторов на ETc: а) скорость ветра; б) температура в сочетании со скоростью ветра
Figure 4 – Influence of natural factors on ETc: a) wind speed; b) temperature in combination with wind speed

Следовательно, при расчете водопотребления следует также учитывать температуру воздуха и скорость ветра, задаваемые при его проектировании и использовании ЦД.

Межзональные различия эвапотранспирации

Анализ межзональных различий эвапотранспирации, наряду с остальными факторами показал следующее:

- Волгоградская область характеризуется максимальными значениями *ET* вследствие высокой радиации, сухости и ветра.
- Ростовская область показывает промежуточные сценарий эвапотранспирации среди всех рассмотренных природных зон.
- Центрально-черноземная зона – характеризуется минимальными значениями *ET* среди рассматриваемых зон Российской Федерации.

Следовательно, при построении ЦД, наряду с заданием фаз развития агрокультур, для моделирования испарения при расчете водопотребления следует учитывать и почвенно-климатическую зону предполагаемого использования ЦД.

Инженерная методика оценки испарения

Для систем оперативного управления орошением возможно, вместо громоздкой нелинейной формулы *PM*, применение предлагаемой линеаризованной модели:

$$ETc \approx a \cdot Rn + b \cdot T - c \cdot RH + d \cdot V + k, \quad (5)$$

где Rn – суммарная (чистая) радиация на поверхности культуры, МДж/(м²·сут); T – среднесуточная температура воздуха, °C; RH – относительная влажность; V – скорость ветра, м/с; коэффициенты a, b, c, d, k – зональные эмпирически определяемые параметры.

Применительно к условиям Юга России можно принимать следующие ориентировочные значения численных коэффициентов зависимости (5):

$$ETc \approx 0.18 \cdot Rn + 0.11 \cdot T - 0.035 \cdot RH + 0.22 \cdot V + 2.1. \quad (6)$$

Использование зависимостей (5) и (6) обеспечивает такие преимущества, как быстрое вычисление на калькуляторах в полевых условиях; пригодность для ПЛК и микроконтроллеров; снижение вычислительной нагрузки на процессор ЦД. В тоже время, ограничениями ее применения являются более низкая универсальность и необходимость региональной калибровки.

Полученные закономерности соответствуют, либо не противоречат зависимостям, полученным Allen et al. (1998), Pereira et al. (2015), Bastiaanssen et al. (2019):

- Уровень солнечной радиация – главный фактор *ET*.
- *RH* – второй по значимости фактор.
- Скорость ветра – вторичный, но достаточно значимый фактор.
- Упрощенные модели допустимы для локальных систем управления орошением.

Кроме того, для построения ЦД капельного орошения может быть рекомендовано следующее сочетание факторов и методов, обеспечивающий оптимальный баланс точности и инженерной реализуемости:

«*FAO-56 + IoT датчики + локальная регрессия + гидрометеопрогноз*».

Направлением дальнейших исследований является интеграция ET-моделей с AI, дистанционным зондированием и IoT, которые формирует основу нового поколения автоматизированных оросительных агроинженерных систем [16, 18-20].

Заключение. В результате проведенного исследования сформулированы следующие выводы:

Формула Пенмана-Монтейта является наиболее обоснованной и универсальной математической основой определения эвапотранспирации для цифровых двойников орошаемых сельскохозяйственных культур.

Для российских условий ключевыми факторами являются радиация, температура, влажность воздуха и скорость ветра; при этом среди проанализированных регионов Волгоградская область характеризуется наибольшей потенциальной эвапотранспирацией, а Центрально-черноземная зона – наименьшей.

Использование распределенной сети датчиков с дистанционной передачей показаний позволит перейти от нормативного полива к адаптивному управлению в режиме реального времени.

Для практического внедрения возможны упрощенные инженерные модели, встроенные в цифровые платформы, контроллеры капельного полива и цифровые двойники хозяйств. Интеграция ET-моделей с AI, дистанционным зондированием и IoT формирует основу нового поколения оросительных агроинженерных систем.

Conclusions. As a result of the conducted research, the following conclusions were formulated:

The Penman-Monteith formula is the most well-founded and universal mathematical basis for determining evapotranspiration for digital counterparts of irrigated crops.

For Russian conditions, the key factors are radiation, temperature, humidity and wind speed, while among the analyzed regions, the Volgograd region is characterized by the greatest potential evapotranspiration, the Central black-colored soils zone is the least.

The use of a distributed network of sensors with remote transmission of readings will allow the transition from regulatory irrigation to adaptive control in real time.

Simplified engineering models integrated into digital platforms, drip irrigation controllers, and digital farm counterparts are possible for practical implementation. The integration of *ET* models with AI, remote sensing and IoT forms the basis of a new generation of irrigation agricultural engineering systems.

Библиографический список

1. Рогачев А. Ф. Обоснование математических моделей как алгоритмической основы цифровых двойников водохозяйственных организаций. Известия НВ АУК. 2025. № 3 (81). С. 455-463.
2. Бородычев В. В. Оптимизация параметров оросительной системы в условиях сочетания в её пределах орошаемого массива с богарным. Мелиорация и водное хозяйство. 2007. № 6. С. 23.
3. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p.

4. Pereira L. S., Allen R. G., Smith M., Raes D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. Agricultural Water Management. 2015. V. 147. Pp. 4-20.
5. Shuttleworth W. J., Wallace J. S. Evaporation from sparse crops – an energy combination theory. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1985. V. 111. Pp. 839-855.
6. Jones H. G. Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
7. Bastiaanssen W. G. M., Allen R. G., Droogers P., D'Urso G., Steduto P. Twenty-five years modeling irrigated and drained soils by remote sensing. Agricultural Water Management. 2007. V. 92. Pp. 111-125.
8. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming: review. Agricultural Systems. 2017. V. 153. Pp. 69-80.
9. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: review. Sensors. 2018. V. 18 (8). Art. 2674.
10. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis I.N. Introducing digital twins to agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 2021. V. 184. Art. 105942.
11. Zhang Y., Wang G., Wang J. Digital twin for smart agriculture: Concepts, applications and future perspectives. IEEE Access. 2022. V. 10. Pp. 357-371.
12. Campos I., Neale C. M. U., Calera A., Balbontín C., González-Piqueras J. Assessing satellite-based ET estimation. Remote Sensing. 2020. V. 12.
13. Corwin D. L., Lesch S. M. Soil sensor technology for monitoring water and salinity. Vadose Zone Journal. 2021.
14. Monteiro J., Santos F., Gonçalves P. IoT-enabled irrigation digital twins for perennial crops. Precision Agriculture. 2023.
15. Rodríguez A., Martínez G., Pérez-Ruiz M. Orchard digital twins for precision irrigation scheduling. Agricultural Water Management. 2023.
16. Rogachev D. A. Justification of Parameters Modifiable for Genetic Algorithms of Artificial İntelligence for Solving Multi-Criteria Optimization Problems. Inventive Communication and Computational Technologies: Proceedings of ICICCT. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2024. Pp. 899-910.
17. Ferreira M. I., Paço T. A., Conceição N. Sensor fusion in orchard irrigation management. Computers and Electronics in Agriculture. 2024.
18. Мелихова Е. В. Алгоритмические основы и математическое обеспечение цифровых информационных технологий для управления мелиоративной деятельностью. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2019. 164 с.
19. Мелихова Е. В. Техника комбинированного орошения овощных культур. Овощи России. 2019. № 2 (46). С. 84-87.
20. Melikhova E. V. Computer simulation and optimization of parameters of configuration of the contour of moistening under drip irrigation of agricultures. Studies in Computational Intelligence. 2019. V. 826. Pp. 1193-1201.

References

1. Rogachev A. F. Substantiation of mathematical models as an algorithmic ba-sis for digital counterparts of water management organizations. Proceedings of NV AUC. 2025. No 3 (81). Pp. 455-463.
2. Borodychev V. V. Optimization of parameters of the irrigation system in conditions of combination of an irrigated massif with a rain forest within its limits. Land reclamation and water management. 2007. No 6. P. 23.
3. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p.
4. Pereira L. S., Allen R. G., Smith M., Raes D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. Agricultural Water Management. 2015. V. 147. Pp. 4-20.
5. Shuttleworth W. J., Wallace J. S. Evaporation from sparse crops – an energy combination theory. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1985. V. 111. Pp. 839-855.
6. Jones H. G. Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
7. Bastiaanssen W. G. M., Allen R. G., Droogers P., D'Urso G., Steduto P. Twenty-five years modeling irrigated and drained soils by remote sensing. Agricultural Water Management. 2007. V. 92. Pp. 111-125.
8. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming: review. Agricultural Systems. 2017. V. 153. Pp. 69-80.
9. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. Machine learning in agriculture: review. Sensors. 2018. V. 18 (8). Art. 2674.
10. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis I.N. Introducing digital twins to agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 2021. V. 184. Art. 105942.
11. Zhang Y., Wang G., Wang J. Digital twin for smart agriculture: Concepts, applications and future perspectives. IEEE Access. 2022. V. 10. Pp. 357-371.
12. Campos I., Neale C. M. U., Calera A., Balbontín C., González-Piqueras J. Assessing satellite-based ET estimation. Remote Sensing. 2020. V. 12.
13. Corwin D. L., Lesch S. M. Soil sensor technology for monitoring water and salinity. Vadose Zone Journal. 2021.
14. Monteiro J., Santos F., Gonçalves P. IoT-enabled irrigation digital twins for perennial crops. Precision Agriculture. 2023.
15. Rodríguez A., Martínez G., Pérez-Ruiz M. Orchard digital twins for precision irrigation scheduling. Agricultural Water Management. 2023.
16. Rogachev D. A. Justification of Parameters Modifiable for Genetic Algorithms of Artificial İntelligence for Solving Multi-Criteria Optimization Problems. Inventive Communication and Computational Technologies: Proceedings of ICICCT. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2024. Pp. 899-910.
17. Ferreira M. I., Paço T. A., Conceição N. Sensor fusion in orchard irrigation management. Computers and Electronics in Agriculture. 2024.

18. Melikhova E. V. Algorithmic foundations and mathematical support of digi-tal information technologies for managing land reclamation activities. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2019. 164 p.
19. Melikhova E. V. Technique of combined irrigation of vegetable crops. Vegetables of Russia. 2019. No 2 (46). Pp. 84-87.
20. Melikhova E. V. Computer simulation and optimization of parameters of configuration of the contour of moistening under drip irrigation of agricultures. Studies in Computational Intelligence. 2019. V. 826. Pp. 1193-1201.

Информация об авторах
Рогачев Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова (Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44), e-mail: Rogachev.soft@gmail.com
Рогачев Алексей Фруминович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: rafr@mail.ru
Authors' Information
Rogachev Dmitry Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Research Associate, Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya Str., 44), e-mail: Rogachev.soft@gmail.com
Rogachev Aleksey Fruminovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: rafr@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-13

THE CHICKPEA YIELD DYNAMICS WHEN USING THE COPOLYMERS IN COMBINATION WITH FERTILIZERS UNDER THE IRRIGATION CONDITIONS

Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya., Kupriyanov A. A., Melnik S. V.

All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: semenenkosy.vniioz@yandex.ru

Received 22.04.2026 Submitted 21.05.2026

The work was carried out within the framework of the state assignment FNFR-2025-0004 "To develop innovative water-saving agricultural technologies for irrigation of crops using precision irrigation based on digital control systems that ensure sustainable yields in the face of global climate change."

Abstract

Introduction. Legumes occupy a leading position in the crop industry. They are the main source of vegetable protein and are widely used both in human nutrition and in the form of animal feed. Soy is the most important among legumes. Its yield reaches 2.5 t/ha, and the protein content reaches 32 %. However, soybeans are very demanding of the presence of moisture in the soil and high positive temperatures. The main part of the area under this crop is cultivated only by irrigation. At the same time, the cost of irrigation water reaches 4,500 m^3/ha. Therefore, more and more attention is being paid to chickpeas in the arid zones of the Russian Federation. Under favorable conditions, chickpea yields reach 3.65 t/ha, provided that high doses of fertilizers (up to 350 kg/ha of nitroammophosky) are applied and the necessary soil moisture is present. Its volume is provided by carrying out pre-sowing watering, and prolongation and economical consumption by plants – by introducing hydro-sorbents. **The object of the study.** The technology of chickpea cultivation during irrigation using hydro-sorbents. **Materials and methods.** The research was carried out during the cultivation of chickpeas of the "Volzhanin 50" variety in the acutely arid zone of the Lower Volga region under irrigation using hydro-sorbents. **The results and conclusions.** From the analysis of soil samples, it follows that when using hydrogel, the nutrient content in the root layer, in particular nitrate and ammonium nitrogen, is 2.12 times higher than in the control, with local application, on average 16.8 mg /kg higher than with ordinary. The content of phosphate and potassium elements is also higher and amounts to: with the scatter method, an average of 58.18 and 327.0 mg/kg, and with the local method, 105.38 and 725.0 mg/kg, respectively. According to yield indicators, the use of hydrogel with fertilizers during humidification irrigation was: with an ordinary method and a scattered application of a mixture of hydrogel and fertilizers, an average of 2.46 t/ha, with a wide-range 1.42 t/ha, which is 21.5 % higher than in the control. The research results showed that the use of hydrogel mixed with nitroammophos contributed to an increase in chickpea grain yields from an average of 2.46 to 2.66 t/ha with the standard method and from 1.42 to 1.70 t/ha with the wide-row method, which is on average 21.5 % higher than the control. This increase was facilitated by an increased dose of nutrients in the root zone of plants, as well as higher humidity accumulated by the hydrogel.

Keywords: *chickpea irrigation, hydro-sorbents, chickpea mineral nutrition, moisturizing irrigation, chickpea yield, and chickpea cultivation technologies.*

Citation. Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya., Kupriyanov A. A., Melnik S. V. The chickpea yield dynamics when using the copolymers in combination with fertilizers under the irrigation conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 121-129 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-13.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, implementation and analysis of this study. All authors of this article approved the presented final version.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 635.657:631.67

ДИНАМИКА УРОЖАЙНОСТИ НУТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОПОЛИМЕРОВ С УДОБРЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

Цепляев А. Н., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Семененко С. Я., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Куприянов А. А., *кандидат технических наук*
Мельник С. В., *старший лаборант-исследователь*

ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания FNFR-2025-0004 «Разработать инновационные водосберегающие агротехнологии при орошении сельскохозяйственных культур с использованием прецизионного полива на основе цифровых систем управления, обеспечивающие получение устойчивой урожайности в условиях глобального изменения климата».

Актуальность. Бобовые культуры занимают ведущее место в отрасли растениеводства. Они являются основным источником растительного белка и широко используются как в питании человека, так и в виде кормов для животноводства. Среди бобовых наиболее важное значение имеет соя. Ее урожайность достигает 2,5 т/га, а содержание белка доходит до 32 %. Однако соя весьма требовательна к наличию влаги в почве и высоких положительных температур. Основная часть площадей под этой культурой возделывается только на орошении. При этом затраты оросительной воды доходят до 4500 м^3/га. Поэтому в засушливых зонах РФ все больше внимания уделяется нуту. При благоприятных условиях урожайность нута достигает 3,65 т/га при условии внесения высоких доз удобрений (до 350 кг/га нитроаммофоски) и наличия необходимой почвенной влаги. Ее объем обеспечивается за счет проведения предпосевных поливов, а пролонгирование и экономное расходование растениями – внесением гидросорбентов. **Объект исследования.** Технология возделывания нута при орошении с применением гидросорбентов. **Материалы и методы.** Исследования проводили при выращивании нута сорта «Волжанин 50» в острозасушливой зоне Нижнего Поволжья на орошении с применением гидросорбентов. **Результаты и выводы.** Из анализа почвенных проб следует, что при использовании гидрогеля содержание питательных элементов в корнеобитаемом слое, в частности нитратного и аммонийного азота, в 2,12 раза больше, чем на контроле; при локальном внесении – в среднем на 16,8 мг/кг выше, чем при рядовом. Содержание фосфатных и калийных элементов также выше и составляет: при разбросном способе в среднем 58,18 и 327,0 мг/кг, а при локальном способе – 105,38 и 725,0 мг/кг соответственно. По показателям урожайности применение гидрогеля с удобрениями при проведении увлажнительных поливов составило: при рядовом способе и разбросном внесении смеси гидрогеля с удобрениями в среднем – 2,46 т/га, при широкорядном – 1,42 т/га, что на 21,5 % выше, чем на контроле. Результатами исследований установлено, что применение гидрогеля в смеси с нитроаммофоской способствовало повышению урожайности зерна нута в среднем от 2,46 до 2,66 т/га (31,0-36,0 %) при рядовом способе и от 1,42 до 1,70 т/га – при широкорядном (21,5 %). Этому увеличению способствовала повышенная доза питательных веществ в прикорневой зоне растений, а также более высокая влажность, накопленная гидрогелем.

Ключевые слова: *орошение нута, гидросорбенты, гидрогели, минеральное питание нута, увлажняющий полив, урожайность нута*, *технологии возделывания нута.*

Цитирование. Цепляев А. Н., Семененко С. Я., Куприянов А. А., Мельник С. В. Динамика урожайности нута при использовании сополимеров с удобрениями в условиях орошения. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 121-129. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-13.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Для обеспечения продовольственной безопасности все большее внимание со стороны правительства РФ уделяется животноводству. Развитие этой отрасли должно обеспечиваться соответствующей кормовой базой. Поэтому значительные посевные площади отводятся под кормовые культуры: бобовые, корнеплоды кормового направления, бахчевые, возделываемые как на богаре, так и на орошении [1, 2].

В бобовых культурах основную ценность представляет растительный белок, он является одним из важных компонентов в рационе питания животных, существенно повышающих качество сырья. К примеру, при введении в рацион питания животных сои или кормовых бобов, жирность молока у коров повышалась в 1,21-1,26 раза (с 3,5 % до 4,3 %) по

сравнению с контролем (без скармливания бобовых), а суточный привес свиней на откорме увеличивался с 560 до 720 грамм [3, 4]. Известно, что бобовые культуры повышают плодородие почвы за счет образования клубеньков на их корневой системе, содержащих легкоусвояемый азот [5, 6]. Однако для каждой почвенно-климатической зоны необходимо подобрать свою бобовую культуру, обеспечивающую получение высоких урожаев при минимальных затратах производства.

Безусловно, основной возделываемой культурой среди бобовых является соя, которая по своей урожайности, агрохимическому составу зерна, усвояемости животными занимает ведущее место [7, 8, 9].

Нижнее Поволжье относится к острозасушливой зоне РФ, поскольку в летний период температура достигает + 40 ºС и более, а количество осадков в отдельные годы не превышает 350 мм. В таких условиях перспективной культурой, из зернобобовых, является нут [9, 10]. Его возможности приспосабливаться к достаточно жестким агроклиматическим условиям и при этом формировать неплохие урожаи (до 1,1 т/га) нашли широкое применение в сельскохозяйственном производстве Волгоградской области, как в пищевой промышленности, так и в животноводстве. Но, несмотря на высокую засухоустойчивость, недостаток влаги, особенно, в начальный период его развития, может привести к существенной потере урожая, а иногда и к гибели растений [6, 10].

Большой вклад в развитие производства нута и расширение площадей под ним в Волгоградской области, да и в РФ, внес В. В. Балашов. Им были созданы и районированы сорта «Приво-1», «Приво-2», «Волжанин» и др. Их биологическая урожайность колеблется от 1,0 до 3,6 т/га и зависит от агроклиматических условий, применяемых удобрений, сроков посева и др. [1, 9]. Следует отметить, что большие дозы удобрений способствуют улучшению питания и повышению урожайности нута только при наличии необходимого количества влаги, а также продолжительности периода ее сохранения. Следовательно, для повышения урожайности нута до 2,5-3,0 т/га необходимо вносить повышенные дозы удобрений (350-400 кг/га). При этом следует учитывать, что для больших доз удобрений необходим достаточный объем почвенной влаги. Для ее накопления и пролонгированного расхода одновременно с удобрениями вносят гидросорбент. Он накапливает питательный раствор (вода с растворенными в ней удобрениями), а затем через корневую систему передает растениям практически в течение сезона. Гидросорбенты искусственного и естественного происхождения применяют в сельском хозяйстве при выращивании различных культур: картофеля, бахчевых, зерновых и т. д. [15, 16].

Всесторонние исследования по применению гидросорбентов в сельском хозяйстве проводят в нашей стране, а также за рубежом [12, 13, 14].

Гидрогели оказывают положительное влияние на структурный состав почвы, они способны снижать концентрацию в почве некоторых элементов, снижающих активность корневой системы растений, например кальция (Ca) [16].

В сельском хозяйстве в основном применяют гидросорбенты, полученные синтезом молекул простых веществ в более сложные, при этом в качестве соединительных элементов используют натрий (Na) или калий (K), содержание которых в полученном продукте не превышает 0,02 % [17, 18].

Следует отметить, что применение гидрогеля при выращивании сельскохозяйственных культур на орошении, судя по литературным источникам, изучалось крайне недостаточно, поскольку экономный расход пресной воды не входил в задачи исследований.

Задачей нашего исследования является изучение эффективности применения гидрогеля при выращивании нута на орошении с целью снижения расхода оросительной воды и удобрений для достижения максимальной урожайности.

Материалы и методы. Исследование проводили в полевом опыте на опытном поле ВНИИОЗ по схеме, представленной на рисунке 1. Исследования выполнялись в посевах нута в трехфакторном полевом опыте по следующим вариантам:

По первому фактору А – способы посева: А1 – рядовой (междурядье 0,15 м), А2 – широкорядный (междурядье 0,70 м). Фактор В – способы внесения гидрогеля: В1 – сплошной, В2 – локальный (ленточный). Фактор С – дозы гидрогеля: С1 – 100 кг/га + минеральные удобрения $N_{60}P_{90}K_{90}$, С2 – 200 кг/га + минеральные удобрения $N_{60}P_{90}K_{90}$.

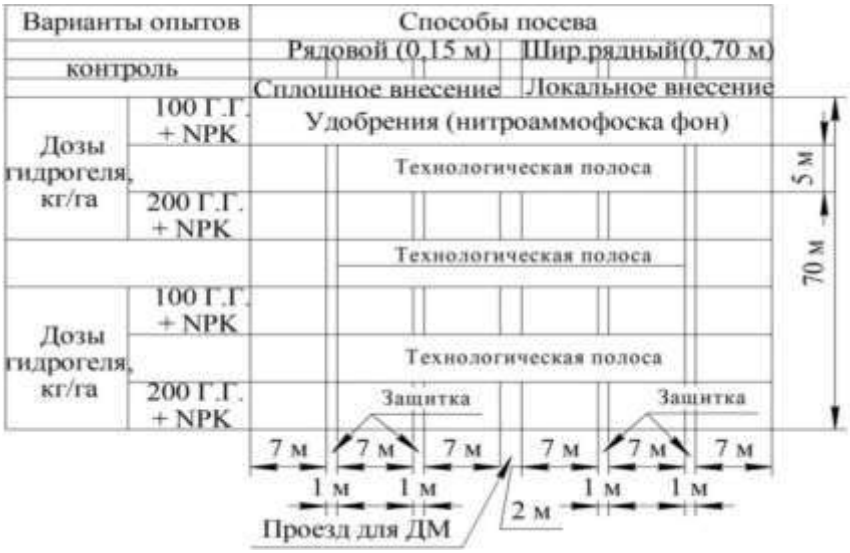


Рисунок 1 – Схема опыта по изучению влияния гидрогеля по вариантам при выращивании нута сорта «Волжанин 50»
Figure 1 – Scheme of the experiment on the study of the effect of hydrogel by variants in the cultivation of chickpeas of the "Volzhanin 50" variety

Посев нута осуществлялся в последней декаде апреля при температуре почвы не менее 8 ºС на глубине 0,06-0,08 м с нормой высева:

- рядовым способом с междурядьями 0,15 м – 780 тыс. шт./га;
- широкорядным способом с междурядьями 0,70 м – 400 тыс. шт./га.

Создание оптимальных условий увлажнения для получения всходов обеспечивалось проведением предпосевного полива нормой 100 м^3/га.

Фосфорные и калийные удобрения вносили под вспашку, азотные – под предпосевную культивацию.

Глубина внесения гидрогеля и смеси удобрений при широкорядном способе посева – на 0,08 м ниже дна борозды укладки семян.

Результаты. Анализом погодных условий установлено, что вегетационный период по ГТК Селянинова Г. Т. характеризовался как «среднезасушливый» с коэффициентом 0,72. Для обеспечения требуемой влажности почвы в период «всходы-цветение» проводили один полив нормой 300 м^3/га. В дальнейшем влажность почвы обеспечивалась естественными осадками и влагой, накопленной в почве, в том числе за счёт гидрогеля.

Таблица 1 – Климатическая оценка периода вегетации, 2025 г.
Table 1 – Climatic assessment of the growing season, 2025

Период / Period	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Сумма за вегетацию / The amount for the growing season
Сумма температур / Total temperature	626,9	640,5	801,4	721,4	360,2	3150,4
Относительная влажность, % / Relative humidity, %	51,4	63,1	56,7	53,6	50,5	1286
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	36,6	62,4	97,5	42,9	8,8	248,2
Сумма эффективных осадков, мм / The amount of effective precipitation,mm	33,0	59,9	83,5	28,3	8,8	213,5 μ = 0,86
ГТК периода / hydrothermal coefficient of the period	0,58	0,97	1,22	0,60	0,24	0,72

Одним из наиболее часто используемых количественных показателей климата является гидротермический коэффициент Селянинова, характеризующий период со среднесуточными температурами воздуха выше 10 ºС, практически совпадающий с периодом вегетации сельскохозяйственных культур. Гидротермический коэффициент определяется соотношением суммы осадков за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10 °С, и суммы среднесуточных температур воздуха (°С) за тот же период, уменьшенной в 10 раз. Недостатком этого показателя является то, что в числителе и знаменателе стоят величины разной размерности. Несмотря на это и на простоту, в большинстве случаев данный метод оценки гидротермических условий дает неплохие результаты (Будыко, 1956). Селянинов Г. Т. разработал ГТК для оценки засушливости территорий, однако мелиоративная практика, в силу доступности вычислительного механизма, допускает его применение для оперативного анализа текущих показателей климата и его связи с режимом увлажнения орошаемых сельскохозяйственных культур.

Анализ метеоусловий по ГТК показывает, что в мае наблюдалась средняя засуха, в июне – недостаточное увлажнение, в июле – достаточное увлажнение, в августе – средняя засуха, в сентябре – сильная засуха. Фактический режим увлажнения, с некоторым допущением, должен коррелировать с показателями естественной увлажнённости.

Таким образом, климатические условия в 2025 г. в целом оказались благоприятными для возделывания нута, особенно в период с июня по сентябрь.

Однако, судя по сумме эффективных осадков в мае (0,33 мм), а также ГТК (0,58), влагозапаса для всходов и развития растений во время разрастания корневой системы нута оказалось недостаточно.

Поэтому перед посевом семян нута проводили влагозарядковый полив из расчета 100 м^3/га. Это обеспечило насыщение влагой верхнего слоя почвы (до 0,10 м). Применение гидрогелей с внесенными удобрениями способствовало увеличению периода поддержания влажности почвы в посевах до 20-30 суток по сравнению с контролем, что подтверждается ее измерением влагомером.

Последующими исследованиями агрохимического состава почвенных образцов на наличие элементов питания в корнеобитаемом слое растений нута установлено, что на опытных участках показатели выше, чем на контроле (рисунок 2, 3).

Следовательно, использование гидрогелей, внесенных в почву вместе с удобрениями при посеве, способствует поддержанию необходимой влагообеспеченности более длительный период и улучшает питание растений.

В соответствии с задачами исследований и схемой опыта проводился химический анализ почвы. Для изучения эффективности применения гидрогеля, внесенного в почву совместно с удобрениями при посеве нута, отбирались пробы почвы перед посевом и при полных всходах культуры, результаты представлены в виде диаграмм на рисунках 2 и 3.

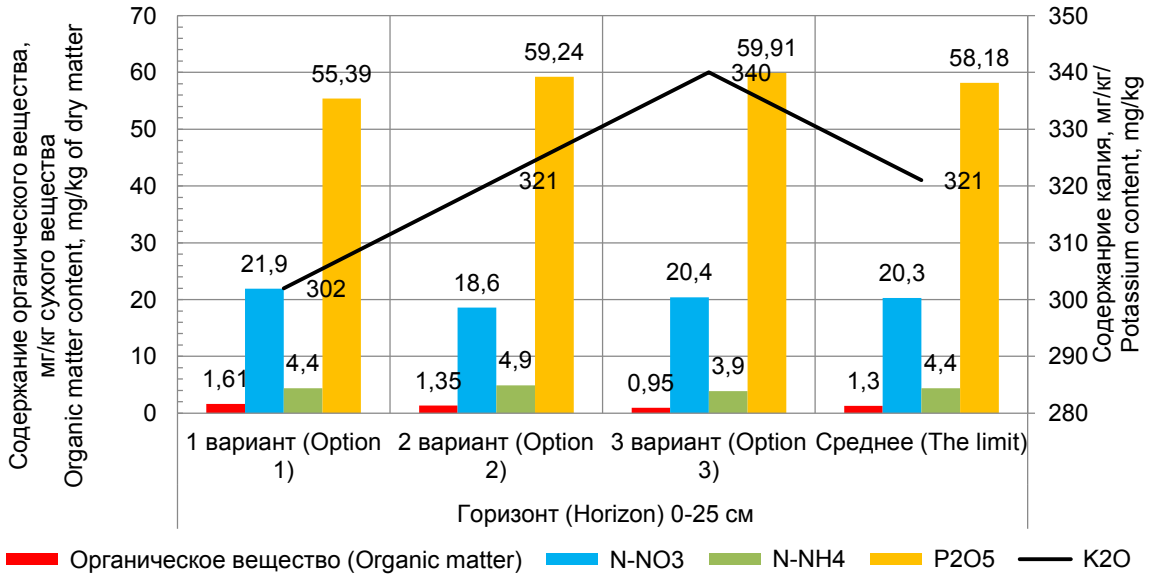


Рисунок 2 – Данные анализа агрохимических показателей почв перед посадкой
Figure 2 – Data from the analysis of agrochemical parameters of soils before planting

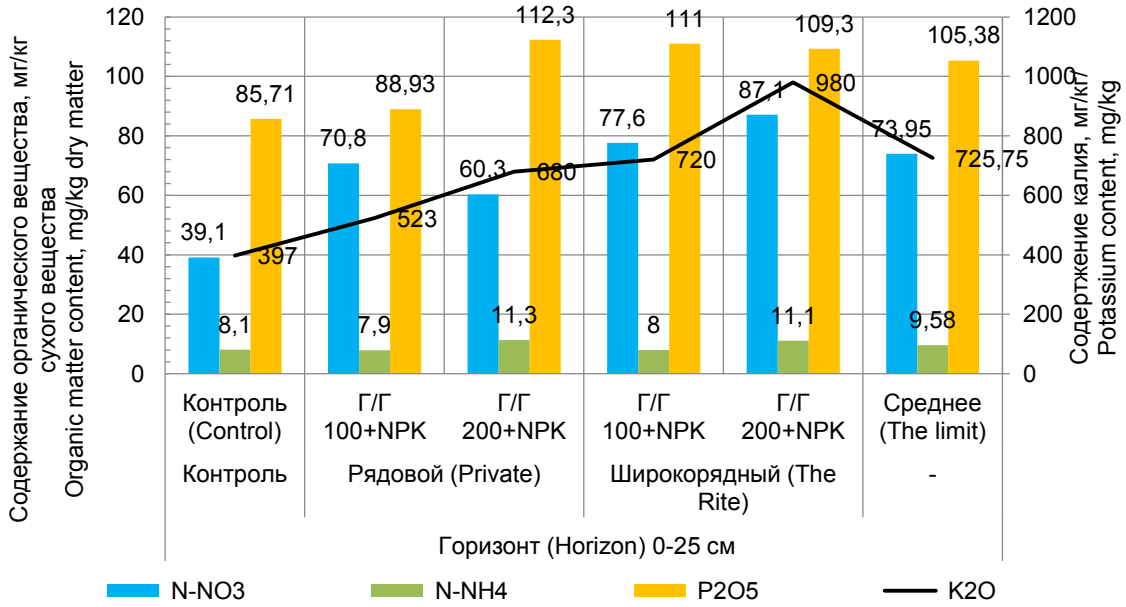


Рисунок 3 – Данные анализа агрохимических показателей почв в фазу созревание бобов
Figure 3 – Data from the analysis of agrochemical parameters of soils in the bean maturation phase

Сравнением полученных значений установлено, что кислотность почвы (pH) на опытных делянках снизилась в среднем на 1,79 (9,73 – до посева, 7,94 – после всходов при НСР0,5 = 0,05).

Показатели нитратного азота ($N\text{-}NO_3$), обеспечивающего питание растений в опытах выше на 53,65 мг/кг воздушно-сухой почвы чем до посева (73,95 мг/кг – в опыте и 20,3 мг/кг до посева при НСР0,5 = 0,1). По сравнению с контролем разница составляет 34,85 мг/кг, что 2,12 раза выше.

При широкорядном посеве $N\text{-}NO_3$ на 16,8 мг/кг больше, чем при рядовом способе. Значение показателей аммонийного азота ($N\text{-}NH_4$) также выше, и эта разница равна 5,2 мг/кг (9,60 мг/кг после всходов, 4,4 мг/кг до посева).

Значение показателей, влияющих на урожайность нута (P_2O_5 и K_2O) существенно выше в опытах по сравнению с контролем и после всходов, соответственно равны: 58,18 мг/кг и 105,38 мг/кг – P_2O_5; 327,0 мг/кг и 725,0 мг/кг – K_2O.

Следовательно, внесенный в почву гидрогель вместе с удобрениями абсорбирует влагу вместе с растворенными в ней удобрениями, способствуя лучшему питанию растений в прикорневом почвенном слое, что следует из показателей результата опыта.

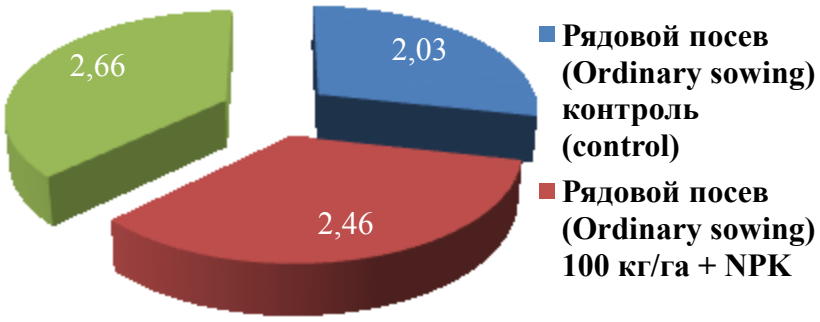


Рисунок 4 – Показатели изменения средней урожайности зерна нута при рядовом посеве, т/га
Figure 4 – Indicators of changes in the average yield of chickpea grain during ordinary sowing, t/ha

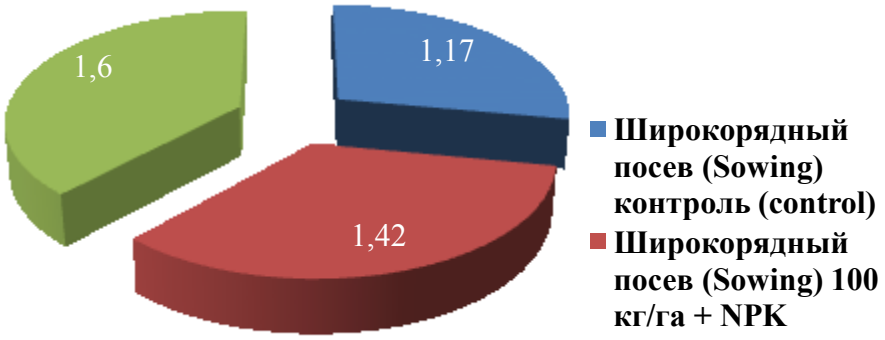


Рисунок 5 – Показатели изменения средней урожайности зерна нута при широкорядном посеве, т/га
Figure 5 – Indicators of changes in the average yield of chickpea grain during broad-row sowing, t/ha

Улучшение условий влагообеспеченности и питания нута в период «всходы-цветение» на вариантах с применением гидросорбента, увеличило урожайность зерна по сравнению с контролем в среднем на 0,43 и 0,63 т/га при рядовом способе посева и внесении 100 и 200 кг/га гидрогеля соответственно (рисунок 4 и 5). Варианты опыта с использованием широкорядного посева отрицательно повлияли на урожайность: на контроле она составляла – 1,17 т/га, а при внесении 100 и 200 кг/га гидрогеля – 1,42 и 1,60 т/га соответственно.

Судя по показателям биологической урожайности нута при рядовом способе посева с внесением гидрогеля в комплексе с минеральным удобрением – нитроаммофоской, максимальное её значение составляет 2,66 т/га при использовании 200 кг/га гидрогеля с фоновым удобрением $N_{60}P_{90}K_{90}$. В сравнении с контролем этот показатель на 0,63 т/га выше и при НСР0,5 = 0,28 т/га, он является существенным.

При внесении гидрогеля в объёме 100 кг/га, урожайность составила 2,46 т/га, т. е. разница определяется в 0,20 т/га, а поскольку НСР0,5 = 0,32 т/га, то ее значение находится в пределах ошибки опыта.

При широкорядном посеве биологическая урожайность в опытах с гидрогелем выше, чем на контроле и при внесении гидрогеля 100 кг/га с нормой удобрений $N_{60}P_{90}K_{90}$ средняя урожайность равна 1,42 т/га, а при дозе гидрогеля 200 кг/га показатель урожайности доходит в среднем до 1,60 т/га. Сравнение полученных значений разности урожайности с контролем составляет: при 100 кг/га гидрогеля – 0,25 т/га, а при 200 кг/га – 0,43 т/га при $НСР_{0,5}$ = 0,40 т/га. Последнее значение всего на 0,03 т/га выше ошибки опыта, что указывает на предельный показатель фактора и может быть отнесено к разряду несущественных.

Таким образом, на основании результата опыта по использованию гидрогеля с удобрениями при выращивании нута на орошении следует отметить, что наилучшая эффективность гидрогеля получена при рядовом способе посева нута, а учитывая затраты на приобретение гидрогеля его доза не должна превышать 100 кг/га.

Заключение. Значения гидротермического коэффициента (ГТК) указывают, что для возделывания нута в 2025 г. климатические условия были весьма благоприятными, поскольку в период вегетации и плодообразования его значения составили 0,97, а в конце сезона, в уборку – 0,24. По оценке агрохимического состава почвы следует отметить, что внесение в почву гидрогеля с минеральными удобрениями существенно повысило показатели фосфорного и калийного питания, а именно: на контроле P_2O_5 – 58,8 мг/кг, а K_2O – 327 мг/кг, тогда как в опытах – 105,38 мг/кг и 725 мг/кг.

Соответственно улучшенное питание на фоне достаточной влажности способствовало повышению урожайности с 2,03 т/га на контроле до 2,66 т/га при рядовом способе (780 тыс. растений на га.); при широкорядном – на контроле 1,17, а с минеральными удобрениями 1,60 т/га (400 тыс. растений на га.). Таким образом урожайность нута повысилась в среднем на 31,0-36,0 %, что, при определенных дозах удобрений, способствует повышению рентабельности культуры.

Conclusions. The values of the hydrothermal coefficient (GTC) indicate that the climatic conditions for chickpea cultivation in 2025 were very favorable, since during the growing season and fruit formation its values were 0.97, and at the end of the season, during harvesting – 0.24. According to the assessment of the agrochemical composition of the soil, it should be noted that the introduction of hydrogel with mineral fertilizers into the soil significantly increased the indicators of phosphorus and potassium nutrition, namely: in the control, P_2O_5 – 58.8mg/kg, and K_2O – 327 mg/kg, whereas in the experiments – 105.38 mg/kg and 725 mg/kg. Accordingly, improved nutrition against the background of sufficient humidity contributed to an increase in yield from 2.03 t/ha at the control to 2.66 t /ha with the ordinary method; with the wide-row method – 1.17, and with mineral fertilizers 1.60 t / ha. Thus, the yield of chickpeas increased by an average of 31.0...36.0 %, which, with certain doses of fertilizers, helps to increase the profitability of the crop.

Библиографический список

1. Балашов В. В., Балашов А. В. Волгоградский нут: монография. Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2013. 108 с.
2. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Н. В., Сидоренко В. С., Хмызова Н. Г. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36). С. 5-17.
3. Николаев С. И. и др. Влияние зерна сорго и некондиционного зерна нута на молочную продуктивность коров. Проблемы современного животноводства и пути их решения: материалы Национальной конференции. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2025. С. 104-107.
4. Николаев С. И. и др. Эффективность использования нута в рационах свиней при выращивании и откорме: рекомендации. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2023. 76 с.
5. Цепляев В. А. и др. Результаты применения гидрогелей при возделывании картофеля сорта «Гулливер» на орошении. Орошаемое земледелие. 2025. № 2 (49). С. 48-53.
6. Бахтыгалиев Е. С., Ивина И. П., Новиков А. А. Многолетние бобовые травы - источник повышения почвенного плодородия. Орошаемое земледелие. 2024. № 3 (46). С. 28-32.
7. Сычев В. Г., Тютюма Н. В., Бондаренко А. Н. Усовершенствованные агротехнологические приемы возделывания нута. Плодородие. 2023. № 2 (131). С. 34-37.
8. Балакай Г. Т., Юркова Р. Е., Докучаева Л. М. Формирование урожайности сортов сои различных групп спелости под влиянием способов посева и норм высева. Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 2. С. 198-211.
9. Толоконников В. В. и др. Влияние орошения, удобрения и фактора сорта на урожайность сои в условиях Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 95-104.
10. Балашов А. В., Набойченко К. В., Малахова А. А., Балашов В. А. Биостатистический анализ хозяйственных показателей сортов нута Волгоградской селекции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2023. № 2 (70). С. 22-30.
11. Балашов В. В. и др. Особенности роста и развития сортов нута Волгоградской селекции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2021. № 1 (61). С. 36-45.
12. Толоконников В. В., Мухаметханова С. С., Канцер Г. П. Приёмы повышения семенной продуктивности сортов сои при орошении в Нижнем Поволжье. Орошаемое земледелие. 2023. № 3 (42). С. 15-18.
13. Tibirkov A. P. et al. The effectiveness of using soil hydrogel on light chestnut soils between the Volga and Don rivers to stimulate the germination of agricultural seeds. International Conf. on Engineering Research and Cooperation in Global Agricultural Production. 2021. Vol. 659. Art. 012018.
14. Sanmai Kumar Patra, Ratneswar Poddar Prospects for the use of hydrogels in agriculture to increase yields and productivity of water resources in conditions of water scarcity. International Journal of Science and Politics. 2022. IF 8.5.
15. Piccoli I., Camatotto C. Hydrogels for agricultural applications: from soil characteristics to crop growth: the overview. Agronomy for Sustainable Development. 2024. IF 6,4.
16. Годунова Е. И., Гундырин В. Н. Роль гидрогеля в улучшении влагообеспеченности озимой пшеницы по полупару в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Достижение науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 5. С. 57-59.
17. Цепляев А. Н., Семененко С. Я., Куприянов А. А. Комплексное решение проблемы ресурсосбережения при выращивании картофеля на орошении с использованием гидросорбентов. Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 3. С. 31-45.
18. Шеркузиев Д. Ш., Арипов Х. Ш. Технология получения новых гидрогелей комплексного действия для сельского хозяйства. Промышленные биотехнологии. 2020. № 4 (73).
19. Wang L., Schjoerring K. J. Seasonal variation in nitrogen pools and 15N/13C natural abundances in different tissues of grassland plants. Biogeoscicnes. 2012. Vol. 9. Pp. 1583-1595.

References

1. Balashov V. V., Balashov A. V. Volgograd Chickpea: Monograph. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2013. 108 p.
2. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova N. V., Sidorenko V. S., Khmyzova N. G. Development of Production of Legumes and Cereals in Russia Based on the Use of Breeding Achievements. Legumes and Cereals. 2020. No 4 (36). Pp. 5-17.
3. Nikolaev S. I. et al. The effect of sorghum grain and substandard chickpea grain on the milk productivity of cows. Problems of modern animal husbandry and ways to solve them: materials of the National Conference. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2025. Pp. 104-107.

4. Nikolaev S. I. et al. The Effectiveness of Using Chickpeas in Pigs' Diets during Rearing and Fattening: Recommendations. Volgograd: Volgograd State Agrarian University, 2023. 76 p.

5. Tseplyaev V. A. et al. Results of Using Hydrogels in Cultivating Gulliver Potatoes under Irrigation. Irrigated Agriculture. 2025. No 2 (49). Pp. 48-53.

6. Bakhtigaliev E. S., Ivina I. P., Novikov A. A. Perennial leguminous grasses - a source of increasing soil fertility. Irrigated agriculture. 2024. No 3 (46). Pp. 28-32.

7. Sychev V. G., Tyutyuma N. V., Bondarenko A. N. Improved agricultural technological methods of chickpea cultivation. Fertility. 2023. No 2 (131). Pp. 34-37.

8. Balakai G. T., Yurkova R. E., Dokuchaeva L. M. Formation of the yield of soybean varieties of different groups of ripeness under the influence of sowing methods and seeding rates. Melioration and hydraulic engineering. 2023. Vol. 13. No 2. Pp. 198-211.

9. Tolokonnikov V. V. et al. Influence of irrigation, fertilization, and variety factor on soybean yield in the Lower Volga region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex. 2021. No 3 (63). Pp. 95-104.

10. Balashov A. V., Naboychenko K. V., Malakhova A. A., Balashov V. A. Biostatistical analysis of economic indicators of chickpea varieties of the Volgograd selection. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex. 2023. No 2 (70). Pp. 22-30.

11. Balashov V. V. et al. Features of the growth and development of chickpea varieties of the Volgograd selection. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex. 2021. No 1 (61). Pp. 36-45.

12. Tolokonnikov V. V., Mukhametkhanova S. S., Kancer G. P. Methods of increasing the seed productivity of soybean varieties under irrigation in the Lower Volga region. Irrigated Agriculture. 2023. No 3 (42). Pp. 15-18.

13. Tibirkov A. P. et al. The effectiveness of using soil hydrogel on light chestnut soils between the Volga and Don rivers to stimulate the germination of agricultural seeds. International Conf. on Engineering Research and Cooperation in Global Agricultural Production. 2021. Vol. 659. Art. 012018.

14. Sanmai Kumar Patra, Ratneswar Poddar Prospects for the use of hydrogels in agriculture to increase yields and productivity of water resources in conditions of water scarcity. International Journal of Science and Politics. 2022. IF 8.5.

15. Piccoli I., Camatotto C. Hydrogels for agricultural applications: from soil characteristics to crop growth: the overview. Agronomy for Sustainable Development. 2024. IF 6.4.

16. Godunova E. I., Gundyrin V. N. The Role of Hydrogel in Improving the Moisture Supply of Winter Wheat in the Semi-Fallow Zone of the Stavropol Territory. Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex. 2015. Vol. 29. No 5. Pp. 57-59.

17. Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya., Kupriyanov A. A. Comprehensive Solution to the Problem of Resource Conservation in Irrigated Potato Cultivation Using Hydro-Sorbents. Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2024. V. 14. No 3. Pp. 31-45.

18. Sherkuziev D. Sh., Aripov Kh. Sh. Technology of obtaining new hydrogels of complex action for agriculture. Industrial biotechnology. 2020. No 4 (73).

19. Wang L., Schjoerring K. J. Seasonal variation in nitrogen pools and 15N/13C natural abundances in different tissues of grassland plants. Biogeoscicnes. 2012. Vol. 9. Pp. 1583-1595.

Информация об авторах

Цепляев Алексей Николаевич, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: 0000 0003-1454-5784, e-mail: can_volgau@mail.ru

Семененко Сергей Яковлевич, главный научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: 0000-0001-5992-8127, e-mail: semenenkosy.vniioz@yandex.ru

Куприянов Андрей Александрович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: 0000-0002-5469-2132, e-mail: kuprijanov19967@gmail.com

Мельник Софья Васильевна, ст. лаборант-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», (Российская Федерация, 400002, Волгоград, ул. Тимирязева 9), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5802-1339, e-mail: melnik_s1996@mail.ru

Authors' Information

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich, Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: 0000 0003-1454-5784, e-mail: can_volgau@mail.ru

Semenenko Sergey Yakovlevich, Chief Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: 0000-0001-5992-8127, e-mail: semenenkosy.vniioz@yandex.ru

Kupriyanov Andrey Aleksandrovich, Candidate of Engineering Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: 0000-0002-549-2132, e-mail: kuprijanov19967@gmail.com

Melnik Sofya Vasilyevna, Senior Research Laboratory Assistant, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5802-1339, e-mail: melnik_s1996@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-14

THE RIBES AUREUM PURSH. BREEDING PROSPECTS ON PRODUCTIVITY AND APHID SPECIES (*APHIS GROSSULARIAE* KALT. AND *CRYPTOMYZUS RIBIS* LINNAEUS) RESISTANCE

Aminova E. V.

Orenburg branch of the Federal Scientific Horticulture Center
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author: e-mail: aminowa.eugenia2015@yandex.ru

Received 26.09.2025 Submitted 06.01.2025

The research was carried out within the state order of FSBSO ARHCBAN for the topic «Genetic and biological and technological approaches to selection process management and improvement of existing selection methods for creating new genetic modifications of fruit, berry, vegetable, and field crops meeting modern requirements for agricultural production» (FGUW-2021-0001).

Abstract

Introduction. This article presents the results of five-year studies of the berry crop golden currant (Ribes aureum Pursh.), obtained in the conditions of the Orenburg branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Horticulture from 2020 to 2025. **Object.** The studied forms differed in phenological observations, in susceptibility to two types of aphids (Aphis grossulariae Kalt. and Cryptomyzus ribis Li.nnaeus), average fruit weight and productivity, and were cultivated on a breeding plot according to the 3 × 2 m scheme under dryland conditions. **The study** of forms for resistance to aphids was carried out in field conditions against a natural background, each bush was visually inspected throughout the growing season. Throughout the entire study period, samples No. 1-2, No. 1-17, No. 1-20, No. 1-18, No. 2-2, No. 2-3, No. 2-6, No. 2-20 had no damage by 2 aphid species, while the variety "Laysan (K)" and form No. 1-3 showed slight damage of up to 10 % by gall leaf aphid. On average, over the years of study, the studied samples No. 2-15 and No. 1-10 showed the smallest number of fruits in a brush from 2.1 to 2.8 pcs., and the largest in the variety "Laysan (K)" and forms No. 1-2, No. 1-6, No. 2-2, No. 2-6 from 6.2 to 6.4 pcs., respectively. It was established that forms No. 1-2, No. 1-3, No. 1-6, No. 2-1, No. 2-2, No. 2-6 annually exceeded the control variety "Laysan" in average fruit weight by 0.14-0.47 g. As a result of the studies of Ribes aureum Pu.rsh. plants, the most productive forms were identified: No. 1-2, No. 1-3, No. 1-6, No. 2-2 and No. 2-6 (5.3; 4.9; 5.5; 5.1; 5.3 kg per bush, respectively), they exceeded the standard by 4.25 – 17.02 %. From the above it follows that selected forms No. 1-2, No. 1-3, No. 1-6, No. 2-2 and No. 2-6 are recommended for use in breeding for high productivity and resistance to aphids, as well as for cultivation in horticulture in the conditions of the Southern Urals.

Keywords: *currant, Ribes aureum Pursh., cultivation of currant, yield of currant, selection of currant.*

Citation. Aminova E. V. The Ribes aureum Pursh. breeding prospects on productivity and aphid species (*Aphis grossulariae* Kalt. and *Cryptomyzus ribis* Linnaeus) resistance. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 130-137 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-14.
Author's contributions. The author fulfilled all the stages of research – designing and conducting investigations, data analysis and submitting the final version of the article
Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

УДК 631.527:634.724

ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЛЕКЦИИ *RIBES AUREUM* PURS. НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ К ВИДАМ ТЛИ (*APHIS GROSSULARIAE* KALT. И *CRYPTOMYZUS RIBIS* LINNAEUS)

Аминова Е. В., *кандидат сельскохозяйственных наук*

Оренбургский филиал ФГБНУ ФНЦ Садоводства
г. Оренбург, Оренбургская область, Российская Федерация

Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием ФГБНУ ФНЦ Садоводства по теме «Генетические и биотехнологические подходы управления селекционным процессом, совершенствование существующих методов селекции для конструирования новых генетических модификаций плодовых, ягодных, овощных и полевых культур, отвечающих современным требованиям сельскохозяйственного производства» (FGUW-2021-0001).

Актуальность. Приведены результаты многолетних исследований ягодной культуры смородины золотистой (*Ribes aureum* Pursh.), полученные в условиях Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства с 2020 по 2025 г. **Объект.** Общее количество растений 165 шт. культивировали на селекционном участке, в богарных условиях, схема посадки 3×2 м. **Материалы и методы.** Исследуемые

формы отличались по продуктивности и ее компонентам, степени повреждения вредителями (*Aphis grossulariae* Kalt. и *Cryptomyzus ribis* Linnaeus), имели разные сроки прохождения фенологических фаз. Устойчивость к тле изучали визуально в полевых условиях на естественном фоне. **Результаты и выводы.** Установлено, что образцы № 1-2, 1-17, 1-20, 1-18, 2-2, 2-3, 2-6, 2-20 обладают высокой устойчивостью к вредителям и превосходят по этому признаку контрольный сорт «Ляйсан». Образцы №№ 1-2, 1-3, 1-6, 2-1, 2-2, 2-6 ежегодно превышали контрольный сорт по средней массе плода на 0,14-0,47 г. По количеству ягод выделен сорт «Ляйсан» (среднее количество 6,4 шт.) и формы № 1-2, № 1-6, № 2-2, № 2-6, у которых показатель составил 6,2 шт. В результате проведенных исследований выделены высокоурожайные формы №№ 1-2,1-3,1-6, 2-2, 2-6, продуктивность которых была в диапазоне 4,9-5,3 кг ягод с куста и превышала контроль на 4-17 %. Полученные результаты позволяют рекомендовать формы смородины золотистой № 1-2, 1-3, 1-6, 2-2, 2-6 для использования в селекции на высокую продуктивность и устойчивость к тле, а также для выращивания в условиях Южного Урала в хозяйствах различных категорий.

Ключевые слова: *смородина золотистая, Ribes aureum Pursh., возделывание смородины золотистой, урожайность смородины золотистой, селекция смородины золотистой.*

Цитирование. Аминова Е. В. Перспективы селекции *Ribes aureum* Purs. на продуктивность и устойчивость к видам тли (*Aphis grossulariae* Kalt. и *Cryptomyzus ribis* Linnaeus). *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 130-137. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-14.

Вклад авторов. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился с представленным окончательным вариантом и одобрил его.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Смородина золотистая *Ribes aureum* Pursh. занимает важное место в садоводстве регионов с резко контительнальным климатом, в том числе в условиях Южного Урала [1-3]. Растения смородины золотистой характеризуются рядом определенных качеств: это, прежде всего, долговечность, эстетичность, высокая продуктивность, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам среды, полезный биохимический состав плодов [5; 7-10].

В ряде научных учреждений России ведется селекционная работа по созданию сортов смородины золотистой, которая направлена на сочетание в одном генотипе высокого уровня продуктивности и адаптации к неблагоприятным стрессорам, а также на различные сроки созревания и пищевую ценность плодов, пряморослый габисус и др. [4; 5; 8-11]. Наиболее значимые селекционные достижения получены в ФГБНУ Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН (сорта «Ляйсан», «Фатима», «Находка», «Венера», «Зарина», «Шафак»), в ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий (сорта «Оливия», «Юбилей Алтая»), ФГУП Новосибирская зональная станция садоводства Россельхозакадемии (сорта «Ермак», «Изобелла», «Мускат»), ФГБНУ Федеральный научные центр им. И. В. Мичурина («Августовская Ночь», «Знойный Мираж»).

Высокий полиморфизм *Ribes aureum* Pursh. позволяет в ходе селекционной работы создавать разнообразный материал с целью совершенствования сортимента, в том числе для экстремальных условий Южного Урала, характеризующихся недостаточным увлажнением, высокими температурами в вегетационный период и низкими в период покоя.

Цель исследований – изучить продуктивность и устойчивость к вредителям форм смородины золотистой.

Материалы и методы. С 2020 по 2025 гг. были изучены 45 форм смородины золотистой в сравнении с районированным сортом «Ляйсан (К)». Изучения проводились на селекционном участке Оренбургского филиала ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Общее количество растений 165 шт., 2017 года закладки, схема посадки растений – 3×2 м. Участок неорошаемый. В период исследований ранней весной проводили фитосанитарную обрезку кустов, также в течение вегетационного периода осуществлялась трехкратная междурядная обработка почвы. Ежегодно проводили фенологические наблюдения и учет повреждаемости вредителями 45 образцов, а также отбирали 20 форм, показавших наибольшую продуктивность. Изучение устойчивости растений к тле проводили визуально в полевых условиях на естественном фоне ежегодно в ходе фитосанитарного мониторинга. Фенологические наблюдение, определение продуктивности осуществляли в соответствии с основными положениями «Программы и методики сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур, 1999» [6]. Статистическую обработку данных выполняли по Б. А. Доспехову [4] с применением программы «Excel» («Microsoft Office», США).

Климат степной зоны Оренбуржья резко континентальный и экстремальный для культивирования многих ягодных культур. Золотистая смородина выделяется на их фоне высокой зимостойкостью, продуктивностью, засухоустойчивостью и другими хозяйственно ценными признаками. Погодные условия в годы проведения исследований, были разнообразными, что позволило полнее оценить генотипы в том числе при абиотических стрессорах. По данным Центральной гидрометеорологической станции, количество атмосферных осадков за год составляет 363 мм, средняя длительность периода с температурой выше +10 °С – 140-150 дней, сумма положительных температур в пределах 3000 °С, эффективных 2348-2710 °С, активных 2887-3265 °С. Особенности погодных условий в годы изучения представлены в таблице 1.

В 2020 г. температура воздуха была выше среднемноголетней на 3,5 °С (июль). Погодные условия вегетационного периода 2021 г. были аномально жаркими и самыми засушливыми за 2013-2025 гг., температура выше среднемноголетней на 5 °С (в мае и июне). Относительная влажность воздуха ниже 30 % отмечалась 153 суток. Холодной и дождливой весной выделился 2022 год. Среднемесячная температура воздуха в мае была ниже обычной на 4,8 °С, в июне составила +19,8 °С, в июле +22,6 °С, в августе +24,1° С. Дифференциация осадков была неравномерной: май – 106 мм, июнь – 43 мм, июль – 30 мм, август – 22 мм. В 2023 г. температура воздуха с мая по август была на уровне среднемноголетней. В 2024 г. среднемесячная температура воздуха и количество осадков в целом были удовлетворительными и составили в мае +12,3 °С и 52 мм, в июне +22,3 °С и 59 мм, в июле +22,1 °С и 54 мм, в августе +18,9 °С и 151 мм, но из-за весенних заморозков продуктивность была низкой. В 2025 г. май был жарким в сравнении с 2024 и 2022 гг. на +4,3 °С, в июне среднемесячная температура воздуха +20,3 °С, июль и август оказались прохладнее на +1,8…2,3 °С относительно предыдущих 2021-2023 гг.

Таблица 1 – Метеоусловия в годы проведения исследований, ЦГМС г. Оренбург
Table 1 – Weather conditions Orenburg city Central Hydrometeorological Service

Годы наблюдений / Years of observations	Показатели / Indicators					
	Среднегодовая t^0 воздуха, °С / Average annual air temperature, °С	Max t^0 воздуха на поверхности почвы, °С / Min t^0 воздуха, °С / Max t of the air on the soil surface, °С / Min t^0 of the air, °С	Осадки, мм / Снежный покров, см / Precipitation, mm / Snow cover, cm	Относительная влажность воздуха, % / Число дней с относительной влажностью воздуха ≤30 % / Relative humidity of the air, % / Number of days with a relative humidity of the air ≤30 %	Сумма положительных температур (>0), °С / Sum of positive temperatures (>0), °С	Сумма эффективных температур (>5), °С / Сумма активных температур (>10), °С / Sum of effective temperatures (>5), °С / Sum of active temperatures (>10), °С
2020	7,8	64/-25	264/38	53/109	3555	2419/3050
2021	6,3	66/-31	255/34	48/153	3820	2705/3265
2022	5,7	60/-27	372/36	56,6/82	3458	2386/2935
2023	9,5	62/-35	384/33	56,4/95	3695	2531/3246
2024	6,0	59,6/-26	360/31	55,2/81	3163	2348/2887
2025	5,8	57,3/-22	285/41,3	53/100	3089	2330/2790

Результаты исследований. В почвенно-климатических условиях Оренбургской области растения *Ribes aureum* Pursh. в целом устойчивы к болезням и вредителям смородины. За годы исследований на селекционном участке были выявлены два вида тли: крыжовниковая тля (*Aphis grossulariae* Kalt.) и листовая галловая тля (*Capitophorus ribis* L.), которые причиняли вред культуре. На рисунке 1 представлены результаты оценки повреждания этими вредителями. В 2022 и 2024 гг. погодные условия в мае и летних месяцах оказались достаточно благоприятными для развития и распространения вредных насекомых. Степень повреждения листьев крыжовниковой тлей варьировала от 0,5 до 3,0 баллов. Слабая степень (до 2,0 баллов) была выявлена у образцов №№ 1-1, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7, 1-8, 1-9, 1-10, 1-11, 1-14, 2-1, 2-4, 2-15, 2-16, 2-18, 2-8, 2-9, 2-10, 2-11, средняя (до 3,0 баллов) у №№ 1-12, 1-13, 1-19, 1-15, 2-7. За все годы наблюдений сорт «Ляйсан (К)» и образцы №№ 1-2, 1-3, 1-17, 1-20, 1-18, 2-2, 2-3, 2-5, 2-6, 2-20 не имели повреждений.

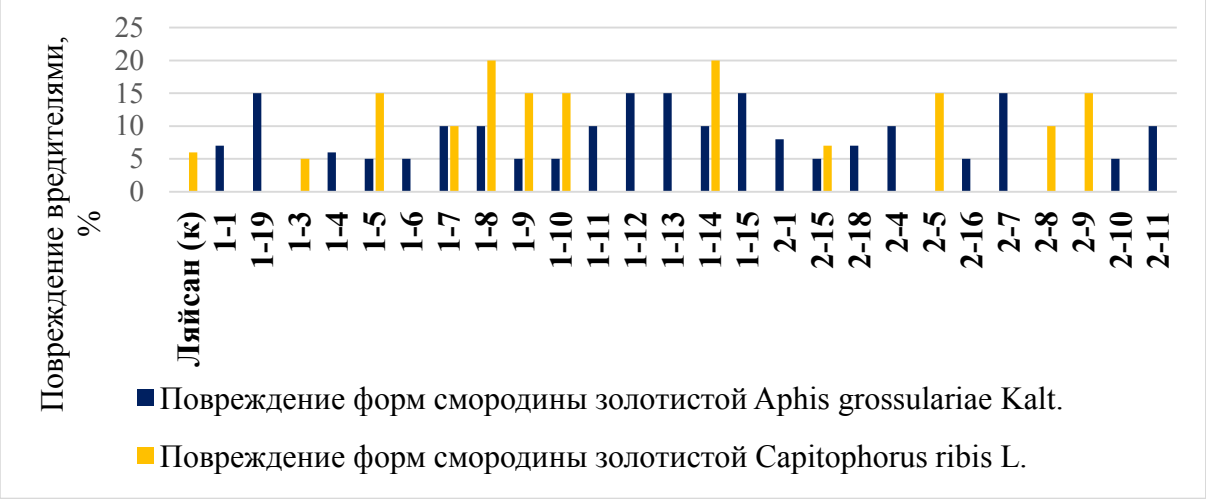


Рисунок 1 – Повреждение растений форм смородины золотистой крыжовниковой тлей (*Aphis grossulariae* Kalt.) и листовой галловой тлей (*Capitophorus ribis* L.), (2020-2024 гг.)
Figure 1 – Damage to currant plants by golden gooseberry aphid (*Aphis grossulariae* Kalt.) and leaf gall aphid (*Capitophorus ribis* L.), (2020-2024)

Вариационный анализ выявил, что изменчивость повреждаемости листьев крыжовниковой тлей (*Aphis grossulariae* Kalt.) среди форм смородины золотистой средняя (3,74-13,2 %).

а

б

Рисунок 2 – Повреждение форм № 1-19 и № 1-8 смородины золотистой:
(а) – крыжовниковой тлей (*Aphis grossulariae* Kalt.), (б) – галловой листовой тлей (*Capitophorus ribis* L.)
Figure 2 – Damage to forms No. 1-19 and No. 1-8 of golden currant:
(a) – Gooseberry aphids (*Aphis grossulariae* Kalt.), (б) – leaf gall aphid (*Capitophorus ribis* L.)

При визуальном осмотре растений в полевых условиях была выявлена средняя повреждаемость галловой листовой тлей от 15 до 20 % у образцов №№ 1-15, 1-8, 1-9, 1-10, 1-14, 2-5, 2-9, слабое повреждения до 10 % у сорта «Ляйсан (К)» и форм №№ 1-3, 1-7, 2-15, 2-8. Формы, показавшие высокую устойчивость к вредителям (степень поражения до 1 балла), представляют интерес для дальнейшего изучения и возможного использования в селекции в качестве источников устойчивости к крыжовниковой и галловой тле.

По результатам фенологических наблюдений, в условиях Оренбургской области начало вегетации растений *Ribes aureum* Pursh. приходится на III декаду апреля. Распускание почек в 2020 и 2021 гг. началось 21-24 апреля при сумме активных температур 25,8-36,3 °С. Начало цветения наблюдалось с 30 апреля и длилось по 13 мая (∑акт. t 164,2-213,1 °С), таким образом фенологическая фаза «цветение» составила 13-15

дней (в зависимости от образца). Полное созревания ягод у образцов отмечено с 23 июля (у ранних форм) по 9 августа (у поздних) (∑акт. t 2374-2646,0 °С). Ежегодно цветение у всех образцов было обильным, 4-5 балльным.

В условиях 2022 и 2024 гг. фаза распускания почек проходила в обычные сроки, а цветение с опозданием на 4-6 дней, было продолжительным и при неблагоприятных погодных условиях (в 2022 г. в I и II декадах мая выпало 106 мм осадков, температура воздуха опускалась до +1…+10 °С. В 2024 г. понижение температуры воздуха до – 3,3 °С (5 мая) и 10 мая до – 1,3 °С, 4 мая выпали осадки в виде снега (3 мм). Из-за майских заморозков большая часть цветков (около 70 %) повредилась (потемнели пестики и пыльники), и, несмотря на обильное цветение урожайность в этот год была низкой. Начало и полное созревание ягод в 2022 и 2024 гг. проходило в одни и те же сроки с 24 июля по 10 августа (∑акт. t 2198-2370,0 °С).

В 2023 г. фаза «распускание почек» наступила 24-27 апреля, фаза «начало цветения» с 30 апреля по 7 мая, полное созревание ягод отмечено с 23 июля по 10 августа.

Среднее количество плодов в кисти варьировало от 2,8 (№ 2-15 и № 1-10) до 6,2 шт. («Ляйсан (К)», № 1-2 и №1-6), а в 2022 г. от 3,3 (№ 2-10, № 2-11, № 2-13, № 2-15) до 6,4 шт. (№ 1-2, № 1-6, № 2-2, № 2-6). В 2020 и 2021 гг. у изучаемых образцов № 2-15, № 1-10, № 1-4, № 2-9, № 2-8, № 2-10, № 2-11, № 2-13 выявлено наименьшее число плодов в кисти от 2,1 до 3,6 шт., а наибольшее 5,0-5,6 шт. – «Ляйсан (К)», № 1-1, № 1-2, № 1-3, № 1-6, № 2-6, № 2-2.

Учет компонентов продуктивности выявил, что у всех 20 высокопродуктивных форм были наиболее крупные плоды и максимальное их количество в кисти. Исследователями [3, 8, 9, 12] доказано, что масса плодов обусловливлена на генетическом уровне и существенно зависит от условий выращивания. На рисунке 3 представлена средняя масса плодов исследуемых форм за 5 лет. Установлено варьирование по данному показателю от 0,92 г до 2,27 г в зависимости от формы и года наблюдений. Так в 2020 г. средняя масса ягоды составила 0,97-2,19 г, в 2021 г. – 0,92-2,12 г, в 2022 г. и 2023 г. 1,14-2,27 г и 1,02-2,16 г соответственно, в 2024 г.: от 0,96 г (№ 1-15) до 2,08 ± 0,06 г (№ 1-6, № 2-6), в 2025 г. (рисунок 3). Такие формы как № 1-2, № 1-3, № 1-6, № 2-1, № 2-2, № 2-6 все годы по этому признаку превышали контрольный сорт «Ляйсан» на 0,14-0,47 г, а образцы № 2-3, № 2-7, № 2-9 находились на уровне стандарта 1,55-1,8 г.

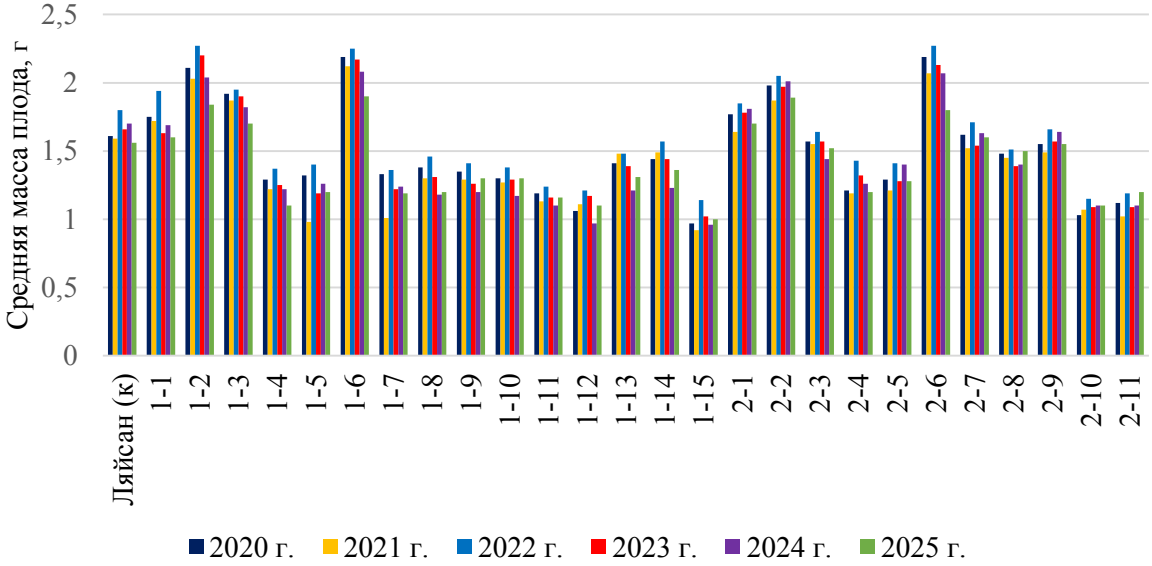


Рисунок 3 – Средняя масса плода форм смородины золотистой (2020-2025 гг.)
Figure 3 – The average weight of the fruit forms a golden currant (2020-2025)

Основные селекционные задачи и требования к новым и создаваемым сортам смородины золотистой – это крупноплодность (масса плода более 2 г), продуктивность свыше 5 кг с куста, одновременное созревание плодов и компактная форма куста [3].

В наших исследованиях на продуктивность образцов существенно влияли погодные условия, наиболее благоприятными они были в 2022 г. и 2023 г., что позволило генотипам реализовать свой потенциал и показать максимальную продуктивность, диапазон которой составил 2,3-5,8 кг с куста. Из-за последствий весенних заморозков, в 2024 г. все формы имели низкую продуктивность (от 0,87 до 2,36 кг с куста), при этом коэффициент вариации (V, %) по годам составил 7,93-21,2 %. За период изучения наиболее продуктивными оказались формы: №№ 1-2, 1-3, 1-6, 2-2 и 2-6 (показатель составил 5,3; 4,9; 5,5; 5,1; 5,3 кг с куста соответственно), которые ежегодно превышали стандарт на 4,25 – 17,02 % (рисунок 4). Образцы №№ 1-7, 1-10, 1-11, 1-12, 1-15, 2-10, 2-11 показали наименьшую продуктивность 2,4-2,8 кг с куста, что ниже на 40-49 % контроля.

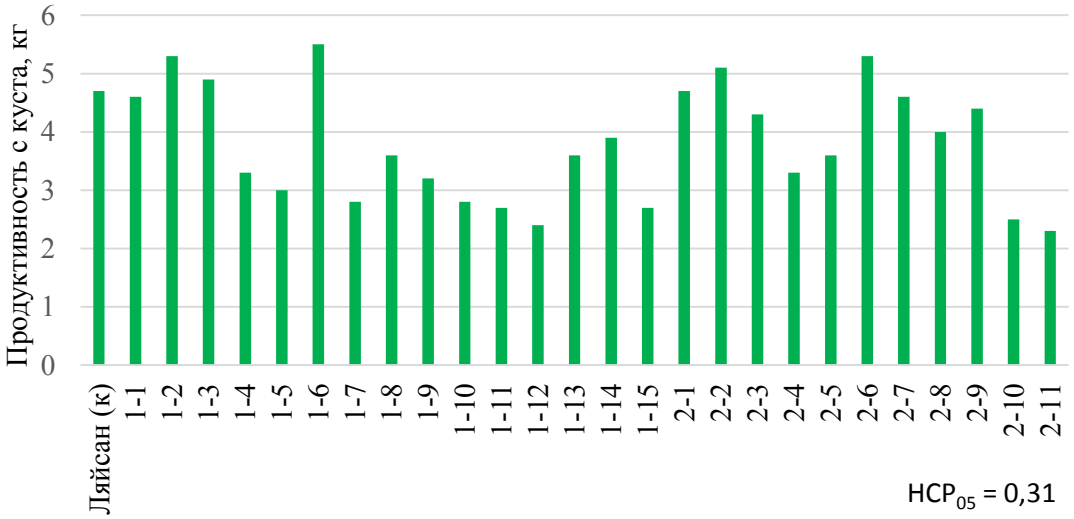


Рисунок 4 – Средняя продуктивность форм смородины золотистой, кг/куст (2020-2025 гг.)
Figure 4 – Average productivity of golden currant varieties (2020-2025)

Формы № 1-1, № 2-1 и № 2-7 по продуктивности были на уровне контрольного сорта «Ляйсан» (4,6-4,7 кг с куста).

Известно, что у растений *Ribes aureum* Pursh. имеется такой недостаток, как неодновременное созревание плодов в кистях, когда верхние ягоды созревают гораздо раньше нижних [5]. У подавляющего большинство изученых нами форм (80 %) отмечено практически одновременное созревание ягод, которые в стадии полной спелости не осыпались, что позволило собрать урожай за 1 сбор. Морфобиологические признаки форм, выделенных по высокому уровню плодоношения представлены на рисунке 5.

1-2 1-6

Рисунок 5 – Морфобиологические признаки форм смородины золотистой, выделенных по результатам многолетнего изучения (2020-2025 г.)
Figure 5 – Selected forms of golden currant (2020-2025)

Заключение. По итогам многолетнего изучения, выделены формы смородины золотистой № 1-2, № 1-6, № 2-2 и № 2-6, которые показали высокую полевую устойчивость к наиболее распространенным вредителям (*Aphis grossulariae* Kalt. и *Cryptomyzus ribis* Linnaeus). Максимальный уровень продуктивности, на 4-17 % превысивший контроль, показали № 1-2, № 1-3, № 1-6, № 2-2 и № 2-6.

Формы № 1-2, № 1-3, № 1-6, № 2-2 и № 2-6 по ряду хозяйственно ценных признаков превосходят стандартный сорт и могут представлять интерес для селекции на крупноплодность, высокую продуктивность, устойчивость к вредителям.

Conclusions. Based on a multi-year study, golden currant varieties No. 1-2, No. 1-6, No. 2-2, and No. 2-6 were identified, demonstrating high field resistance to the most common pests (Aphis grossulariae Kalt. and Cryptomyzus ribis Linnaeus). Varieties No. 1-2, No. 1-3, No. 1-6, No. 2-2, and No. 2-6 demonstrated maximum productivity, exceeding the control by 4-17 %.

Variety No. 1-2, No. 1-3, No. 1-6, No. 2-2, and No. 2-6 surpass the standard variety in a number of economically valuable traits and may be of interest for breeding for large fruits, high productivity, and pest resistance.

Библиографический список

1. Аминова Е. В., Мережко О. Е. Оценка хозяйственно-биологических признаков форм *Ribes aureum* Pursh. в условиях Оренбургской области. Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 4-9.
2. Аминова Е. В., Мушинский А. А., Фещенко Е. М. Перспективные сорта и формы смородины золотистой (Ribes aureum Pursh.) в условиях степной зоны Южного Урала. Плодоводство и ягодоводство России. 2020. Т. 62. С. 9-15.
3. Аминова Е. В., Мережко О. Е., Фомин С. Д., Воронов С. И. Фенотипическая изменчивость некоторых морфобиологических признаков смородины золотистой (*Ribes aureum* Pursh.) в условиях Оренбургской области. Известия НВ АУК. 2024. № 6 (78). С. 132-141.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Нигматзянов Р. А., Сорокопудов В. Н. Оценка сортимента смородины золотистой по устойчивости к галловой тле в условиях Башкирии. Вестник КрасГАУ. 2023. № 7. С. 96-102.
6. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. ВНИИ селекции плодовых культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. 606 с.
7. Родюкова О. С. Особенности качественных показателей плодов у сортов смородины золотистой. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: мат-лы XVIII междунар. науч. конф. Кокино, 2021. Ч. 3. С. 184-188.
8. Салыкова В. С., Штиль Л. В. Сортоизучение отборных форм смородины золотистой (Ribes aureum Pursh.) селекции НИИСС в условиях Алтайского Приобья. Вестник КрасГАУ. 2023. № 9. С. 53-59.
9. Сорокопудов В. Н., Нигматзянов Р. А., Сорокопудова О. А. Итоги отбора сортообразцов смородины золотистой по комплексу признаков. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 9. С. 87-93.
10. Сучкова С. А., Михайлова С. И. Перспективные сорта смородины золотистой в условиях Томской области. Современные направления развития садоводства в Сибири: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Алтайский научный центр агробиотехнологий. 2021.
11. Чеботок Е. М. Хозяйственно-биологическая оценка интродуцированных сортов и отборных форм селекции Свердловской ССС в условиях Среднего Урала. Известия СанктПетербургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (63). С. 54-62.
12. Sorokopudov V., Kuklina A., Nigmatzyanov R., Sorokopudova O., Nazaryuk N. Correlations of polyphenol icsubstances in *Ribes aureum* Pursh (Grossulariaceae) fruits. BIO Web of Conferences. 2021. V. 40. Art. 02010.

References

1. Aminova E. V., Merezhko O. E. Evaluation of economic and biological traits of Ribes aureum Pursh. forms in the Orenburg region. Agrarian scientific journal. 2022. No. 12. Pp. 4-9.
2. Aminova E. V., Mushinsky A. A., Feshchenko E. M. Promising varieties and forms of golden currant (Ribes aureum Pursh.) in the steppe zone of the Southern Urals. Fruit and berry growing of Russia. 2020. № 62. Pp. 9-15.
3. Aminova E. V., Merezhko O. E., Fomin S. D., Voronov S. I. Phenotypic variability of some morphobiological traits of golden currant (Ribes aureum Pursh.) in the Orenburg region. Proceedings of the NV AUC. 2024. No 6 (78). Pp. 132-141.
4. Dospekhov B. A. Methodology of field experience. M.: Alliance, 1985. 351 p.
5. Nigmatzyanov R. A., Sorokopudov V. N. Evaluation of the assortment of golden currant for resistance to gall aphid in the conditions of Bashkiria. Bulletin of KrasSAU. 2023. No. 7. Pp. 96-102.
6. Program and methods of variety study of fruit, berry and nut crops. All-Russian Research Institute of Fruit Crops Selection. Orel: VNIISPK, 1999. 606 p.
7. Rodyukova O. S. Features of the quality indicators of fruits in golden currant varieties. Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex: materials of the XVIII International Scientific Conference. Kokino, 2021. Part 3. Pp. 184-188.
8. Salykova V. S., Shtil L. V. Variety study of selected forms of golden currant (Ribes aureum Pursh.) bred by NIISS in the conditions of the Altai Ob region. Bulletin of KrasSAU. 2023. No. 9. Pp. 53-59.
9. Sorokopudov V. N., Nigmatzyanov R. A., Sorokopudova O. A. Results of selection of golden currant variety samples based on a set of traits. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2021. No. 9. Pp. 87-93.

10. Suchkova S. A., Mikhailova S. I. Promising varieties of golden currant in the Tomsk region. Modern Directions of Horticulture Development in Siberia: Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Altai Scientific Center of Agro-Biotechnology. 2021.

11. Chebotok E.M. Economic and biological assessment of introduced varieties and selected forms of selection of the Sverdlovsk SSS in the conditions of the Middle Urals. Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University. 2021. No. 2(63). Pp. 54-62.

12. Sorokopudov V., Kuklina A., Nigmatzyanov R., Sorokopudova O., Nazaryuk N. Correlations of polyphenol icsubstances in Ribes aureum Pursh (Grossulariaceae) fruits. BIO Web of Conferences. 2021. V. 40. Art. 02010.

Информация об авторах

Аминова Евгения Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Оренбургский филиал ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Российская Федерация, г. Оренбург, Нежинское шоссе, д. 10), ORCID. 0000-0001-6945-2214, e-mail: aminowa.eugenia2015@yandex.ru

Author's Information

Aminova Evgeniya Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Orenburg Branch of the Federal Research Center for Horticulture (Russian Federation, Orenburg, Nezhinskoye Shosse, 10), ORCID. 0000-0001-6945-2214, e-mail: aminowa.eugenia2015@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-15

THE PERENNIAL RYE VARIETY DERZHAVINSKAYA 29 INTRODUCTION IN THE ASTRAKHAN REGION SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS

Bulakhtina G. K., Podoprigorov Yu. N., Khyupinina E. V.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciens»
Astrakhan Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: gbulaht@mail.ru

Received 26.02.2026 Submitted 15.05.2026

Summary

The article presents the results of the introduction of the forage plant perennial rye variety Derzhavinskaya 29, bred by the North Caucasus Federal Scientific Center, into the semi-desert natural zone (subzone of light chestnut soils) of the northern region of the Astrakhan region, carried out in the period 2022-2025.

Abstract

Introduction. The area of agricultural land subject to erosion and deflation currently amounts to 126 million hectares. Against the backdrop of progressive desertification processes resulting from increasing climate aridity and the steady increase in grazing pressure, scientists are successfully using phytomelioration to restore severely degraded pasture and hayfield lands. Therefore, it is necessary to select plants that can increase the species diversity and productivity of pastures in arid conditions. The aim of the research is to introduce a forage plant – perennial rye variety 'Derzhavinskaya 29' – into a semi-desert natural zone (subzone of light chestnut soils) and to study its adaptive and economically valuable properties. **Materials and methods.** The experiment, study, and mathematical processing of the obtained data were carried out according to the "Methodology of Field Experiment" by B. A. Dospekhov (1985) using the Microsoft Excel XP computer program. **The object of the study** – perennial rye variety Derzhavinskaya 29. **The subject** of the study was the biological characteristics and adaptive potential of the introduced species. **Conclusions.** The growing season of perennial rye (from spring regeneration to maturity) in the soil and climatic conditions of the northern Astrakhan region was 150-157 days. However, the Derzhavinskaya 29 variety of rye did not exhibit any perennial characteristics, as there was no root renewal the following year after fruiting. It was found that the plant has high drought resistance (the water-holding and water-absorbing capacity of rye leaves amounted to 50.5-56.3 % and 98.8-102.4 %, respectively, over the years). This is a plant is capable of producing 17 times more green (dry) forage mass under rained conditions than the grass stand of a heavily degraded pasture. One kilogram of green forage from perennial rye is 1.5 times less nutritious (0.18 k.u.) than pasture forage (0.28 k.u.). However, since this plant is highly productive, the feed units collected from 1 hectare of perennial rye were 11 and 16 times higher in green and air-dry matter, respectively.

Keywords: *perennial rye, phenology, height of rye plants, yield of rye, nutritional value of rye.*

Citation. Bulakhtina G. K., Podoprigorov Yu. N., Khyupinina E. V. The perennial rye variety Derzhavinskaya 29 introduction in the Astrakhan region soil and climatic conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 137-144 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-15.

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

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

УДК 633.14

ИНТРОДУКЦИЯ РЖИ МНОГОЛЕТНЕЙ СОРТА ДЕРЖАВИНСКАЯ 29 В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Булахтина Г. К., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Подопригоров Ю. Н., *младший научный сотрудник*
Хюпинина Е. В., *младший научный сотрудник*

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»
с. Соленое Займище, Черноярский район, Астраханская область, Российская Федерация

Актуальность. Площадь сельхозугодий, подверженных эрозии и дефляции, в настоящее время уже составила 126 млн га. На фоне прогрессирующих процессов опустынивания в результате усиливающейся аридизации климата и неуклонного роста пастбищной нагрузки ученые успешно используют фитомелиорацию для восстановления сильно деградированных пастбищных и сенокосных угодий. Поэтому необходим подбор растений, способных повысить видовое разнообразие и продуктивность пастбищ в аридных условиях. **Цель исследований** – провести интродукцию кормового растения – ржи многолетней сорта «Державинская 29» – в полупустынную природную зону (подзону светло-каштановых почв) и изучить ее адаптационные и хозяйственно ценные свойства. **Материалы и методы.** Закладка опыта, изучение и математическая обработка полученных данных проводились по «Методике полевого опыта» Б. А. Доспехова (1985) с использованием компьютерной программы Microsoft Excel. **Объект исследования** – рожь многолетняя, сорт Державинская 29. Предметом изучения являлись биологические особенности и адаптивный потенциал интродуцента. **Выводы.** Вегетационный период ржи многолетней (от весеннего возобновления до созревания) в почвенно-климатических условиях севера Астраханской области составил 150-157 дней. При этом рожь сорта Державинская 29 не проявила признаков многолетнего растения, поскольку возобновление из корневой системы на следующий год после плодоношения отсутствовало. Было выявлено, что растение обладает высокой засухоустойчивостью (водоудерживающая и водопоглощающая способности листьев ржи составили по годам 50,5-56,3 % и 98,8-102,4 % соответственно). Это растение способно в богарных условиях произвести зеленой кормовой массы в 17 раз больше, чем травостой сильно деградированного пастбища. Один килограмм зеленого корма ржи многолетней менее питателен (0,18 к. ед.), чем пастбищный корм (0,28 к. ед.), в 1,5 раза. Однако, поскольку продуктивность этого растения высокая, с 1 га посева ржи многолетней было собрано кормовых единиц больше в зеленом и воздушно-сухом веществе в 11 и 16 раз соответственно.

Ключевые слова: *рожь многолетняя, фенология, высота растений ржи, урожайность ржи, питательная ценность ржи.*

Цитирование. Булахтина Г. К., Подопригоров Ю. Н., Хюпинина Е. В. Интродукция ржи многолетней сорта Державинская 29 в почвенно-климатические условия Астраханской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 137-144. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-15.
Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одной из ключевых экологических проблем Юга России является опустынивание сельскохозяйственных земель [1]. По данным ФНЦ агроэкологии в РФ площадь сельхозугодий, подверженных эрозии и дефляции, в настоящее время уже составила 126 млн га [2]. Ученые выявили, что основной причиной таких процессов в природных экосистемах является человеческий фактор, в т. ч. нерациональное использование земельных и водных ресурсов [3, 4]. На первый план выходят такие серьезные вопросы, как деградация растительного покрова пастбищных экосистем, оголение почвы, почвенная и воздушная засухи, природные пожары, пыльные бури, которые в большей степени затрагивают такие регионы, как Астраханская область и Республика Калмыкия. Требуется разработка стратегии решения указанных проблем и противодействия опустыниванию [5, 6, 7, 8].

Одним из самых мощных природоохранных и климаторегулирующих инструментов, способствующих восстановлению деградированных земель, повышению биоразнообразия и устойчивости экосистем в условиях аридизации климата является фитомелиорация. Академик Кулик К. Н. отмечает, что по Сталинскому плану преобразования природы, который не имеет аналогов в мировой практике по своей масштабности, в Северном Прикаспии было закреплено 200 тыс. га подвижных песков, а на площади более 50 тыс. га созданы дефляционно-устойчивые кустарниковые лесопастбища [9]. В результате на защищенных полях урожайность зерновых выросла на 25-30 %, овощных культур – на 50-75 %, кормовых трав – на 100-200 %. Была создана прочная кормовая база для развития животноводства [10].

В настоящее время на фоне прогрессирующих процессов опустынивания в результате усиливающейся аридизации климата и неуклонного роста пастбищной нагрузки ученые успешно используют фитомелиорацию для восстановления сильно деградированных пастбищных и сенокосных угодий. Поэтому необходим подбор растений, способных повысить видовое разнообразие и продуктивность пастбищ в аридных условиях. Одним из перспективных решений может стать интродукция новых видов кормовых растений из других регионов и дикой флоры. Так широкий ассортимент злаковых пастбищных культур, в т. ч. пыреи, житняки, кострецы Ставропольской селекции получили высокую оценку по результатам исследования их хозяйственно-ценного потенциала в ходе многолетнего комплексного изучения их биопродуктивной адаптации на песчаных землях Западного Прикаспия [11]. В Северном Прикаспии в Прикаспийском научном центре проводятся многолетние исследования по изучению кустарниковых растений-фитомелиорантов для рекультивации полупустынных пастбищ [12]. Для создания поливидовых пастбищных угодий кроме кустарниковых растений необходимы также и травяные. В условиях полупустыни в Астраханской области проводились исследования с использованием житняка гребневидного [13]. Однако необходимо расширять видовой состав травяных растений для фитомелиорации сильно деградированных полупустынных кормовых угодий. На базе ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в 2022-2025 гг. проводились исследования по изучению ржи многолетней сорт Державная 29 селекции ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ для использования в создании моно- и поливидовых пастбищ.

Материалы и методы. Объект исследования – рожь многолетняя сорт «Державинская 29».

Предметом изучения являлись биологические особенности и адаптивный потенциал интродуцента. Закладка опыта, изучение, математическая обработка полученных данных проводились по «Методике полевого опыта» Б. А. Доспехова (1985) – с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Место проведения исследований – опытный участок питомника интродукции ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», в правобережной степи Черноярского района Астраханской области. Рельеф участка – выровненный с микрозападинами до 0,15 м. Почвы опытного участка светло-каштановые солонцеватые суглинистые, в комплексе с солонцами от 5 до 10 %, с содержанием гумуса – 0,9 %.

Агротехнические мероприятия. Основная обработка почвы осенью 2022-2024 гг. отвальная вспашка на глубину 0,20-0,22 м (МТЗ-1021 + ПЛН 4-35). Обработка почвы перед осенним посевом: культивация с боронованием (МТЗ-1021 + КПС-5 + БЗТС-1 5 шт.). Посев травяной сеялкой (МТЗ-82 + СЗТ-3,6). Послепосевное прикатывание (МТЗ-82 + ЗКВГ – 1,4).

Общая площадь под опытом – 720 м^2; учетная делянка – 180 м^2. Способ посева – широкорядный с междурядьем 0,6 м. Глубина заделки семян – 0,02-0,03 м. Размещение делянок последовательное, в четырехкратной повторности.

Результаты. Цель исследования – провести интродукцию кормового растения – ржи многолетней сорта «Державинская 29» – в полупустынную природную зону (подзону светло-каштановых почв) и изучить ее адаптационные и хозяйственно-ценные свойства. Семенной материал ржи многолетней был предоставлен ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ по договору о научном сотрудничестве.

В связи с тем, что опыт проводился на богаре, на первом этапе были проанализированы метеорологические условия периода исследования (2022-2025 гг.). Метеоданные получены на метеостанции с. Черный Яр Астраханской области.

Климат региона исследования резко-континентальный с высокими летними температурам (до 45-50 °С в дневное время) и мягкими малоснежными зимами. В период вегетации растений часты суховеи, почвенная и воздушная засухи. В весенний период не редки возвратные морозы.

Температура воздуха в период исследования (рисунок 1) превысила среднемноголетние данные в среднем на 2-3 °С. Большая разница в сторону увеличения температуры отмечена зимой, в декабре и январе в среднем на 8,8 и 17,2 °С, соответственно.

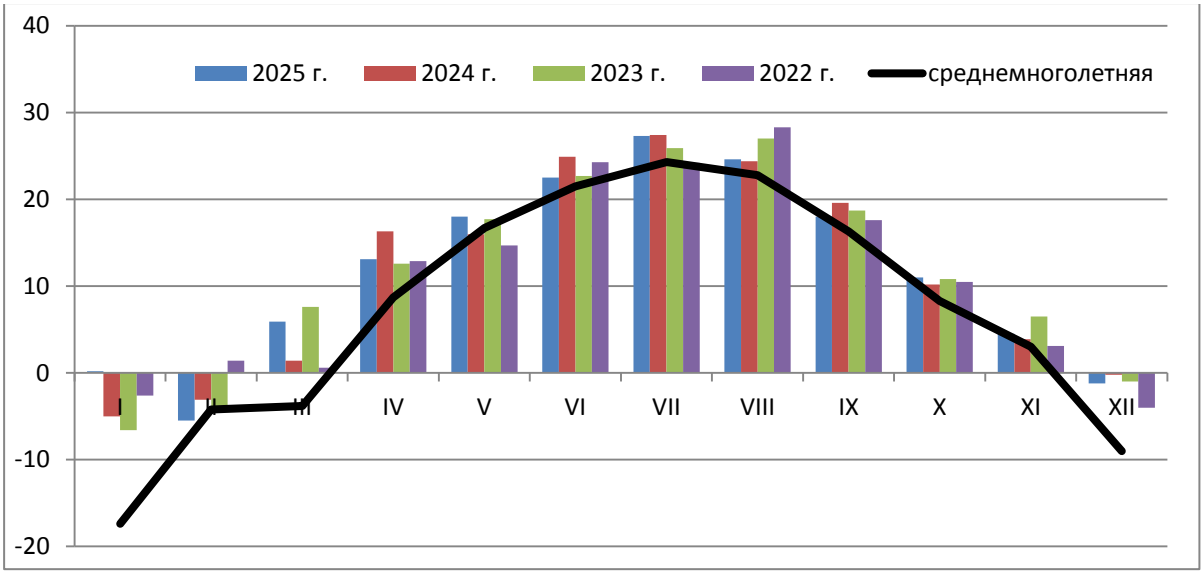


Рисунок 1 – Динамика изменения температуры воздуха (°С) по годам исследования в сравнении со среднемноголетними данными, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022-2025 гг.
Figure 1 – Dynamics of air temperature changes (°C) by study years in comparison with average long-term data, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science», 2022-2025

Сумма осадков по годам достаточно сильно менялась (рисунок 2). Так, в 2025 году выпало за год всего 174 мм, что оказалось на 100-175 мм меньше, чем в предыдущие годы. При этом в период активной вегетации трав (апрель-сентябрь) в 2022 и 2023 годах выпало в среднем 135 мм, а в 2024 и 2025 годах – всего около 60 мм. Было отмечено, что испаряемость в среднем в 2 раза превосходила количество выпавших осадков. Поэтому запас продуктивной влаги в метровом слое почвы был удовлетворительным только в марте (75 мм), а далее по месяцам – неудовлетворительным (рисунок 3).

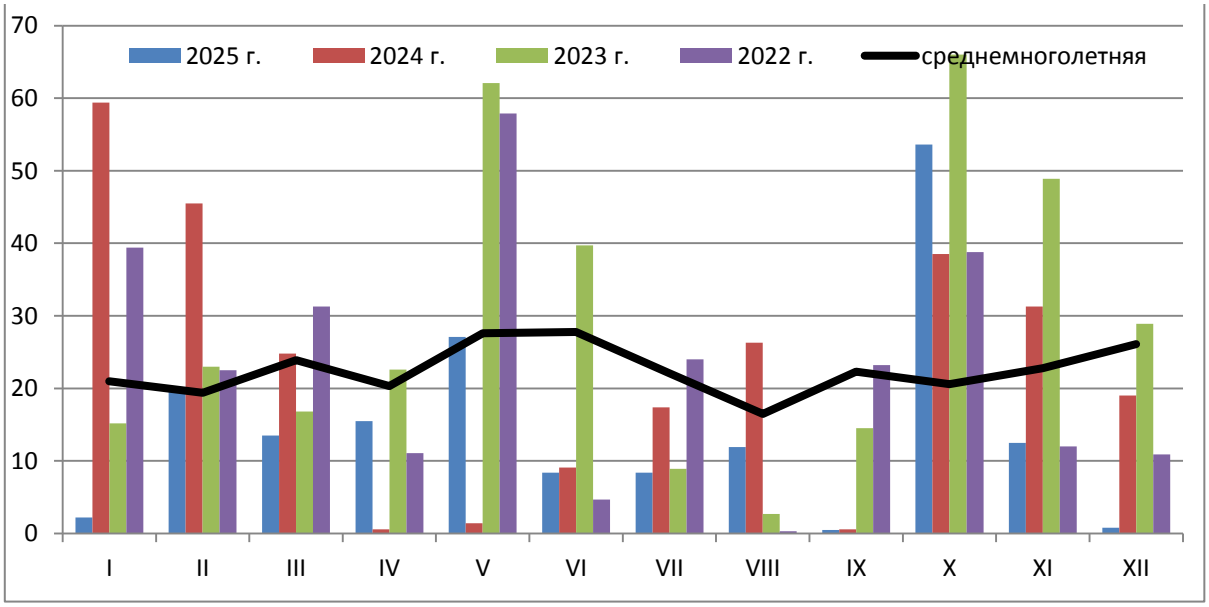


Рисунок 2 – Динамика изменения годовой суммы осадков (мм) по годам исследования в сравнении со среднемноголетними данными, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022-2025 гг.
Figure 2 – Dynamics of changes in annual precipitation (mm) by study years in comparison with average long-term data, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science», 2022-2025

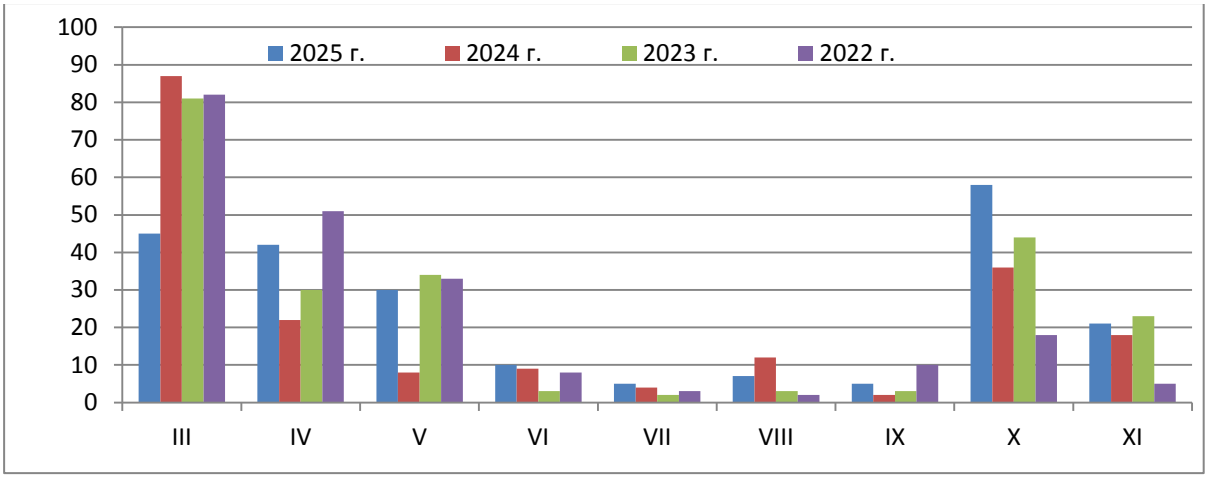


Рисунок 3 – Динамика изменения продуктивного запаса влаги (мм) в слое почвы 0-1,0 м по месяцам вегетации и годам исследования, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022-2025 гг.
Figure 3 – Dynamics of changes in the productive moisture reserve (mm) in the 0-1.0 m soil layer by months of vegetation and years of study, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science»,2022-2025

На первом этапе исследования были изучены основные посевные показатели семян исследуемых растений (таблица 1).

Таблица 1 – Посевные качества семян ржи многолетней Державинская 29, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022-2024 гг.
Table 1 – Sowing qualities of perennial rye seeds Derzhavinskaya 29, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science», 2022-2024

Год / Year	Лабораторная всхожесть,% / Laboratory germination, %	Чистота, % / Purity, %	Посевная годность, % / Sowing suitability, %	Масса 1000 семян,г. / Weight of 1,000 seeds, g
2022	97	100	97	21,0
2023	96	100	96	22,6
2024	98	100	98	22,1

Результаты таблицы 1 показали, что по годам исследования семенной материал ржи многолетней имел высокие посевные качества, в т. ч. лабораторная всхожесть – 96-98 %, чистота 100 %. Посев проводился 22-25 октября с нормой высева 80 кг/га.

Результаты изучения фенологии ржи многолетней в условиях региона исследования показал, что вегетационный период ржи многолетней (от весеннего возобновления до созревания) составляет 150-157 дней (таблица 2).

Таблица 2 – Даты начала прохождения фенологических фаз ржи многолетней Державинская 29, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022-2025 гг.
Table 2 – Dates of the beginning of the phenological phases of perennial rye Derzhavinskaya 29, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science», 2022-2025

Посев / Sowing	Всходы / Germination	Кущение / Tillering	Весеннее возобновление / Spring renewal	Выход в трубку / Emergence	Колошение / Ear emergence	Цветение / Flowering	Созревание / Ripening
20-25.10	3-10.11	8-15.11	3-7.03	10-22.04	10-19.05	28.05-3.06	10-15.07

При этом в почвенно-климатических условиях региона исследований рожь сорта Державинская 29 не проявила признаков многолетнего растения, поскольку возобновление из корневой системы на следующий год после плодоношения отсутствовало.

Измерение высоты растений проводили в фазу молочно-восковой спелости семян ржи. Средняя высота растений по годам составила 1,25 м.

Засушливые условия аридного региона оказывают стрессовое воздействие на водный потенциал растений (водоудерживающая и водопоглощающая способности в процессе онтогенеза). Голубова В. А. и Газе В. Л. (2021) отмечают, что «...сущность адаптации рас-

тений к засухе сводится к обеспеченности клеток и тканей водой, поддержанию структурной и функциональной целостности растительного организма, что обеспечивает рост и образование репродуктивных органов в условиях недостаточного водоснабжения» [14]. Для определения засухоустойчивости интродуцента в периоды действия наибольшего стрессового фактора – засухи (июль-август) были проведены лабораторные исследования по определению водоудерживающей и водопоглощающей способностей листьев ржи, которая составила по годам 50,5-56,3 % и 98,8-102,4 %, соответственно.

Согласно методике Б. А. Доспехов (1985), визуальная оценка состояния посевов по 5-балльной шкале, в одни и те же часы, при расположении солнца «за спиной» было определено, как отличное (5 баллов). Поражение болезнями и вредителями по 5-балльной шкале было оценено в 0 баллов (отсутствие повреждений).

Для изучения хозяйственно-ценных признаков и свойств ржи многолетней по годам исследования проводился сноповой анализ растения (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты снопового анализа ржи многолетней по годам исследования, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2023-2025 гг.
Table 3 – Results of sheaf analysis of perennial rye by years of study, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science», 2023-2025

Год / Year	Показатели снопового анализа / Indicators of the sheaf analysis							
	общее число стеблей на 1 растении, шт. / total number of stems per plant, pcs.	число плодоносящих стеблей, шт. / number of fruiting stems, pcs.	длина колос, м / spike length, m	число зерен в колосе, шт. / number of grains per spike, pcs.	вес зерна в колосе, г / grain weight per spike, g	вес корня, г / root weight, g	вес соломы, г / straw weight, g	вес колоса, г / spike weight, g
2023	2,4	1,3	0,09	14,1	0,13	1,3	2,5	0,14
2024	2,0	1,3	0,08	13,1	0,13	1,3	2,3	0,15
2025	3,3	1,5	0,11	18,4	0,16	1,5	3,1	0,18
НСР $_{05}$	0,5	0,1	0,04	0,6	0,007	0,12	0,12	0,006

Результаты исследования показали, что разность по годам не имела существенного значения, кроме 2025 года, когда показатели хозяйственно ценных признаков ржи многолетней были значительно лучше, чем в предыдущие годы. Поскольку сумма осадков за вегетационный период в этот год была не самой большой, то такие показатели мы связываем с тем, что растение прошло период адаптации к данным почвенно-климатическим условиям.

Учет урожайности зеленой (сухой) массы ржи многолетней проводили в фазу молочно-восковой спелости зерна. В качестве контроля был взят фитоценоз естественного аридного пастбища (таблица 4).

Таблица 4 – Урожайность зеленой (сухой) массы (т/га) ржи многолетней по годам исследования в сравнении с естественным фитоценозом, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2023-2025 г.
Table 4 – Green mass yield (t/ha) of perennial rye by years of study in comparison with natural phytocenosis, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science», 2023-2025

Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Год / Year			
	2023	2024	2025	средняя / average
зеленая масса / green mass	10,8	11,1	15,6	12,5
контроль, зеленая масса / control, green mass	0,6	0,7	0,7	0,7
НСР $_{05}$	2,2	2,4	4,7	
воздушно-сухая масса / air-dry weight	7,9	8,1	11,4	9,1
контроль, воздушно-сухая масса / control, air-dry weight	0,4	0,6	0,6	0,5
НСР $_{05}$	2,1	2,2	2,2	

По данным таблицы 4 можно отметить, что рожь многолетняя способна в богарных условиях полупустынного региона на светло-каштановых почвах произвести зеленой (сухой) кормовой массы в 17 раз больше, чем травостой сильно деградированного пастбища.

Питательную ценность зеленой массы ржи многолетней Державинская 29 определяли в фазу молочно-восковой спелости зерна перед укосом и воздушно-сухой массы (таблица 5).

Таблица 5 – Питательная ценность ржи многолетней (средние данные за 2023-2025 гг.) в сравнении с естественным фитоценозом, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»
Table 5 – Nutritional value of perennial rye (average data for 2023-2025) in comparison with natural phytocenosis, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science»

Кормовая масса / Feed weight	В 1 кг корма, к. ед. / In 1 kg of feed, feed units	Получено с 1 га, т. к. ед. / Obtained from 1 ha, feed units
зеленая масса / green mass	0,18	2,25
контроль, зеленая масса / control, green mass	0,28	0,20
воздушно-сухая масса / air-dry mas	0,47	4,31
контроль, воздушно-сухая масса / control, air-dry mass	0,52	0,26

Анализ таблицы показал, что по кормовым единицам один килограмм зеленого (сухого) корма ржи многолетней менее питателен, чем пастбищный корм в 1,5 (1,1) раза. Однако, поскольку продуктивность этого растения высокая, выход кормовых единиц с 1 га посева ржи многолетней оказался больше в зеленом и воздушно-сухом веществе в 11 и 16 раз, соответственно.

Обсуждение. Вегетационный период ржи многолетней (от весеннего возобновления до созревания) в почвенно-климатических условиях севера Астраханской области составил 150-157 дней. При этом рожь сорта Державинская 29 не проявила признаков многолетнего растения, поскольку возобновление из корневой системы на следующий год после плодоношения отсутствовало. Было выявлено, что растение обладает высокой засухоустойчивостью (водоудерживающая и водопоглощающая способности листьев ржи составили по годам 50,5-56,3 % и 98,8-102,4 % соответственно) и способно в богарных условиях произвести зеленой (сухой) кормовой массы в 17 раз больше, чем травостой сильно деградированного пастбища. Один килограмм зеленого корма ржи многолетней менее питательный (0,18 к. ед.), чем пастбищный корм (0,28 к. ед.) в 1,5 раза. Однако, поскольку продуктивность этого растения высокая, кормовых единиц с 1 га посева ржи многолетней было больше в зеленом и воздушно-сухом веществе в 11 и 16 раз соответственно.

Заключение. Таким образом, по результатам проведенных исследований за период 2022-2025 гг. было выявлено, что в Астраханской области на светло-каштановых почвах в условиях аридного климата рожь многолетняя сорта Державинская 29 способна производить зеленого (сухого) корма в среднем 12,5 (9,1) т/га. Несмотря на то что рожь менее питательна, чем пастбищный корм, она способна произвести с одного гектара 2,25 т к. ед., в сравнении с естественным пастбищем, дающим 0,20 т к. ед.

Conclusions. Thus, based on the results of the studies conducted for the period 2022-2025, it was revealed that in the Astrakhan region on light chestnut soils in arid climate conditions, perennial rye of the Derzhavinskaya 29 variety is capable of producing green (dry) fodder of an average of 12.5 (9.1) t/ha. Although rye is less nutritious than pasture feed, it is capable of producing 2.25 feed units per hectare, compared to 0.20 feed units per hectare on natural pasture.

Библиографический список

1. Сычев В. Г., Хисматуллин М. М., Хисматуллин М. М. Роль мелиорации в повышении эффективности сельскохозяйственного производства и плодородия почв: экономико-правовые аспекты. Плодородие. 2023. № 1 (130). С. 57-63.
2. Кулик К. Н., Беляев А. И., Пугачёва А. М. Роль защитного лесоразведения в борьбе с засухой и опустыниванием агроландшафтов. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 4-14.
3. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L. Land Degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and Reclamation Methods. Arid Ecosystems. 2020. № 2. V. 10. Pp. 140-147.
4. Тютюма Н В., Булахтина Г. К., Тютюма Н А. Антропогенный фактор опустынивания аридных территорий Астраханской области. Аридные экосистемы. 2023. Т. 29. № 1(94). С. 53-58.
5. Шевченко В. А., Дедова Э. Б., Дедова А. А., Широкова В. А., Шабанов Р. М. Агрофитомелиорация в борьбе с опустыниванием и деградацией земель аридных территорий. Плодородие. 2024. № 3 (138). С. 95-99.
6. Свинцов И. П. Борьба с опустыниванием в республике Мали. Научно-агрономический журнал. 2024. № 4 (127). С. 74-77.
7. Vlasenko M. V., Turko S. Yu. Comprehensive assessment of the effectiveness of the use of phytomeliorated hayfields in an arid floodplain ecosystem. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2024. V. 9. Art. 100675.
8. Lioubimtseva E., Henerby G. M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptation. Journal of Arid Environments. 2017. № 73. Pp. 12-27.

9. Кулик К. Н., Кулик К. Д., Слайковская Е. С. Научное обеспечение предотвращения опустынивания агроландшафтов на юго-востоке Европейской России. Степи Северной Евразии: материалы X международного симпозиума. 2024. № 10. С. 675-682.

10. Кулик К. Н. 75 лет Плану преобразования природы. Итоги и примеры реализации. Научно-агрономический журнал. 2023. № 4 (123). С. 8-15.

11. Сурхаев Г. А., Сивцева С. Н., Маховикова Т. Ф., Сурхаева Г. М. Адаптивный и продуктивный потенциал злаковых культур ставропольской селекции в фитомелиорации пастбищных угодий Западного Прикаспия. Известия НВ АУК. 2022. № 3 (67). С. 202-210.

12. Булахтина Г. К., Тютюма Н. А. Оценка аридных кормовых растений в качестве фитомелиорантов опустыненных пастбищных экосистем. Известия НВ АУК. 2023. 1(69). С. 148-157.

13. Тютюма Н. В., Булахтина Г. К. Фитомелиоративные технологические приемы биологической рекультивации деградированных пастбищ Северного Прикаспия//Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15. № 2. С. 54-70.

14. Голубова В. А., Газе В. Л. Изучение механизмов регуляции воды в растениях сортов озимой мягкой пшеницы в условиях острой засухи. Зерновое хозяйство России. 2021. № 4. С. 3-7.

References

1. Sychev V. G., Khismatullin M. M., Khismatullin M. M. The role of land reclamation in increasing the efficiency of agricultural production and soil fertility: economic and legal aspects. Fertility. 2023. No 1 (130). Pp. 57-63.

2. 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.

3. Dedova E. B., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L. Land Degradation of the Republic of Kalmykia: Problems and Reclamation Methods. Arid Ecosystems. 2020. No 2. V. 10. Pp. 140-147.

4. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K., Tyutyuma N. A. Anthropogenic Factor of Desertification of Arid Territories of the Astrakhan Region. Arid ecosystems. 2023. V. 29. № 1 (94). Pp. 53-58.

5. Shevchenko V. A., Dedova E. B., Dedova A. A., Shirokova V. A., Shabanov R. M. Agrophytomelioration in the fight against desertification and land degradation in arid territories. Fertility. 2024. No 3 (138). Pp. 95-99.

6. Svintsov I. P. Combating desertification in the Republic of Mali. Scientific and Agronomic Journal. 2024. No 4 (127). Pp. 74-77.

7. Vlasenko M. V., Turko S. Yu. Comprehensive assessment of the effectiveness of the use of phytomeliorated hayfields in an arid floodplain ecosystem. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2024. V. 9. Art. 100675.

8. Lioubimtseva E., Henerby G. M. Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptation. Journal of Arid Environments. 2017. № 73. Pp. 12-27.

9. Kulik K. N., Kulik K. D., Slaykovskaya E. S. Scientific support for preventing desertification of agricultural landscapes in the southeast of European Russia. Steppes of Northern Eurasia: Proceedings of the X international symposium. 2024. No 10. Pp. 675-682.

10. Kulik K. N. 75 years of the Nature Transformation Plan. Results and examples of implementation. Scientific and Agronomic Journal. 2023. No 4 (123). Pp. 8-15.

11. Surkhaev G. A., Sivtseva S. N., Makhovikova T. F., Surkhaeva G. M. Adaptive and productive potential of cereal crops of Stavropol selection in phytomelioration of pastures of the Western Caspian region. Proceedings of the NV AUC. 2022. No 3 (67). Pp. 202-210.

12. Bulakhtina G. K., Tyutyuma N. A. Evaluation of arid forage plants as phytomeliorants of desertified pasture ecosystems. Proceedings of the NV AUC. 2023. No 1 (69). Pp. 148-157.

13. Tyutyuma N. V., Bulakhtina G. K. Phytomeliorative technological methods of biological reclamation of degraded pastures of the Northern Caspian region//Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2025. Vol. 15. No 2. Pp. 54-70.

14. Golubova V. A., Gaze L. V. Study of water regulation mechanisms in plants of winter soft wheat varieties under conditions of acute drought. Grain economy of Russia. 2021. No 4. Pp. 3-7.

Информация об авторах

Булахтина Галина Константиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8), ORCID -0000-0001-8949-8666, e-mail:gbulaht@mail.ru

Подопригоров Юрий Николаевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8), ORCID 0000-0003-0073-8702.SPIN-код 8530-7666, e-mail: podoprigorov.85@mail.ru

Хюпинина Екатерина Викторовна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8), ORCID 0000-0002-3449-8658.SPIN-код 8350-7854, e-mail: lapinaekaterina_87@mail.ru

Authors' Information

Bulakhtina Galina Konstantinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science» (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, Solenoye Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID-0000-0001-8949-8666; e-mail: gbulaht@mail.ru

Podoprigorov Yuri Nikolaevich, Junior Researcher, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science» (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, Solenoye Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID 0000-0003-0073-8702. SPIN-code 8530-7666, e-mail: podoprigorov.85@mail.ru

Khupinina Ekaterina Viktorovna, Junior Researcher, FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Science» (Russian Federation, 416251, Astrakhan region, Chernoyarsk district, Solenoye Zaimishche, Severny quarter, 8), ORCID 0000-0002-3449-8658. SPIN code 8350-7854, e-mail: lapinaekaterina_87@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-16

THE HEAVY METALS DISCHARGE STANDARDS ACHIEVING IN THE LIVESTOCK COMPLEXES WASTEWATER TREATMENT WITH FERRITIZATION METHOD

Denisova M. A., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Received 25.04.2026 Submitted 21.05.2026

Summary

The article presents the ferritization method for the heavy metals purification of the livestock wastewater. The data are presented by comparative assessment, with the traditional method of purification based on hydroxide precipitation.

Abstract

Introduction. Over the past fifteen years, one of the significant trends in agriculture in the Russian Federation and around the world has been the development of large-scale livestock complexes. These complexes, which include pig farms, poultry farms, and dairy farms, are characterized by intensive production methods in the industrial livestock sector, which is one of the most important sectors of the agro-industrial complex. As a result of the rapid growth of livestock numbers, there has been an increase in the volume of wastewater, which is highly biologically and chemically aggressive. **Object.** The object of research is livestock wastewater contaminated with heavy metals. **Materials and methods.** All experiments were conducted on model solutions prepared in a laboratory setting. All chemical analyses were conducted in strict accordance with GOST, and the error rate of all experiments did not exceed 4 %. The level of heavy metal contamination in wastewater was determined using the photocolorimetric method with the selection of appropriate light filters. The titrimetric method of chemical analysis was used to determine the concentration of sodium chloride and ammonium in wastewater. Potassium chromate was used as an indicator, and silver nitrate was used as a titrant. Ammonium was titrated with a hydrochloric acid solution while adding a mixture of methyl red and methylene blue as an indicator. **Results and conclusions.** The results obtained are of practical importance, and this method is currently the first to be used for the treatment of livestock wastewater. Traditional methods of hydroxide precipitation are commonly used in large livestock complexes. Based on the experimental data obtained, it can be concluded that the use of the ferritization method meets the standards for wastewater discharge for all three heavy metals studied. The optimal settling time was determined to be 2 hours, with a pH value ranging from 8.5 to 8.8 and a slurry volume of 50 mg/l. The efficiency of livestock wastewater treatment was 100 %.

Keywords: *ferritization, hydroxide precipitation, heavy metals, wastewater treatment, livestock complex.*

Citation. Denisova M. A., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V. The heavy metals discharge standards achieving in the livestock complexes wastewater treatment with ferritization method. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 145-152 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-16.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 628.316:636

ДОСТИЖЕНИЕ НОРМАТИВОВ СБРОСА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МЕТОДОМ ФЕРРИТИЗАЦИИ

Денисова М. А., *кандидат технических наук, доцент*
Бочарников В. С., *доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН*
Бочарникова О. В., *доктор технических наук, профессор*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. За последние пятнадцать лет одной из значимых тенденций в сельском хозяйстве Российской Федерации и во всем мире стало развитие крупномасштабных животноводческих комплексов. Эти комплексы, включающие свинофермы, птицефабрики и молочные фермы, характеризуются интенсивными методами производства в секторе промышленного животноводства, который является одним из важнейших секторов агропромышленного комплекса. В результате быстрого роста поголовья скота увеличился объем сточных вод, которые обладают высокой биологической и химической агрессивностью. **Объект.** Объектом исследования являются сточные воды животноводства, загрязненные тяжелыми металлами. **Материалы и методы.** Все эксперименты про-

водились на модельных растворах, приготовленных в лабораторных условиях. Все химические анализы проводились в строгом соответствии с ГОСТ, и погрешность всех экспериментов не превышала 4 %. Уровень загрязнения сточных вод тяжелыми металлами определяли с помощью фотоколориметрического метода с подбором соответствующих светофильтров. Титриметрический метод химического анализа использовался для определения концентрации хлорида натрия и аммония в сточных водах. В качестве индикатора использовали хромат калия, а в качестве титранта – нитрат серебра. Аммоний титровали раствором соляной кислоты с добавлением смеси метилового красного и метиленового синего в качестве индикатора. **Результаты и выводы.** Полученные результаты имеют практическое значение, и в настоящее время этот метод является первым, который используется для очистки сточных вод животноводческих предприятий. Традиционные методы осаждения гидроксидами широко используются на крупных животноводческих комплексах. На основании полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что использование метода ферритизации соответствует стандартам сброса сточных вод по всем трем изученным тяжелым металлам. Было определено, что оптимальное время отстаивания составляет 2 часа при значении pH в диапазоне от 8,5 до 8,8 и объеме навозной жижи 50 мг/л. Эффективность очистки сточных вод для животноводства составила 100 %.

Ключевые слова: *ферритизация, осаждение гидроксидов, тяжелые металлы, очистка сточных вод, животноводческие комплексы.*

Цитирование. Денисова М. А., Бочарников В. С., Бочарникова О. В. Достижение нормативов сброса тяжелых металлов при очистке сточных вод животноводческих комплексов методом ферритизации. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 145-152. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-16.

Авторский вклад. Все авторы данной научной статьи принимали непосредственное участие в планировании, проведении или анализе данного исследования. Все авторы этой статьи ознакомились с представленной окончательной версией и одобрили ее.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. За последние пятнадцать лет одной из значимых тенденций в сельском хозяйстве Российской Федерации и всего мира стало развитие крупных животноводческих комплексов. На территории России работают более 4 200 крупных животноводческих комплексов численностью более 1000 голов, которые обеспечивают не менее 87 % всего производства мяса и молока. Свинокомплексы, птицефабрики и молочные фермы характеризуются интенсивным типом производства промышленного животноводческого комплекса, что является одним из важнейших секторов агропромышленного комплекса. В связи с быстрым ростом поголовья сопровождается увеличение объемов сточных вод, которые обладают высокой биологической и химической агрессивностью.

«По данным Росприроднадзора за последний год данная категория предприятий является самым крупным источником антропогенных сточных вод, содержащих тяжелые металлы. Сброс производится в поверхностные водоисточники, при этом по содержанию этих примесей они превзошли металлургическую, гальваническую и горнодобывающую отрасли [1]».

Известно, что сточные воды такого типа содержат высокие концентрации органических веществ (показатели БПК и ХПК), а также азот и фосфор. Однако с экологической точки зрения более серьезную опасность представляют тяжелые металлы, обладающие накопительным эффектом. К ним относятся цинк, медь, свинец, кадмий и марганец.

Тяжелые металлы попадают в сточные воды животноводческих комплексов из-за вполне обычных производственных процессов. Их добавляют в корма как полезные микроэлементы, чтобы скот рос быстрее и лучше переносил болезни. Они содержатся в ветеринарных препаратах и появляются при естественном разложении органических остатков.

Проблема в том, что, попадая в почву и водоемы, эти металлы надолго там задерживаются. Они накапливаются в растениях, рыбе и животных, постепенно поднимаясь по пищевой цепи до человека. Это создает серьезную угрозу как для природы, так и для здоровья людей. Поэтому при сбросе очищенной воды так важно строго следить, чтобы концентрация металлов не превышала установленные санитарные нормы.

Волгоградская область сегодня занимает 3 место в России по объёму промышленного свиноводства, и является абсолютным лидером по нерешённым проблемам со сбросом тяжелых металлов от животноводческих комплексов [2].

Всего на территории области эксплуатируется 17 комплексов мощностью более 1000 условных голов [1].

Таблица 1 – Действующие крупные животноводческие и птицеводческие комплексы Волгоградской области (по данным Государственного доклада о состоянии и об охране окружающей среды Волгоградской области в 2025 году [2])
Table 1 – Existing large livestock and poultry complexes in the Volgograd Region (According to the State Report on the State and Protection of the Environment of the Volgograd Region in 2025 [2])

№ п/п / №p/p	Наименование предприятий / Company name	Район расположения / Location district	Продукция / Products	Актуальные данные по сбросу / Current reset data
1	ООО «Мираторг Свиново» / Miratorg Svinovo LLC	Камышинский / Kamyshinsky	2,4 млн голов свиней в год / 2.4 million pigs per year	Стабильное превышение ПДК: цинк в 7,8 раз, медь в 6,2 раз, кадмий в 11 раз / Stable excess of the MPC: zinc by 7.8 times, copper by 6.2 times, and cadmium by 11 times
2	ООО «Агропарк Нижний Чир» / LLC "Agro-Park Nizhny Chir"	Серафимовичский / Serafimovichsky	450 тыс. голов свиней / 450,000 pigs	Превышение ПДК по цинку в 4,2 раза / Zinc MPC exceeded by 4.2 times
3	ООО «Волгоградский Бекон» / Volgograd Bacon LLC	Клетский / Kletsky	320 тыс. голов свиней / 320,000 pigs	Имеет самое большое превышение по кадмию в регионе: в 14 раз / It has the highest cadmium content in the region, 14 times higher than the legal limit
4	ООО «Донской Агрокомплекс» / Donskoy Agrocomplex LLC	Котельниковский / Kotelnikovsky	180 тыс. голов КРС / 180,000 cattle	высокие концентрации никеля и молибдена/ high concentrations of nickel and molybdenum
5	ПАО «Волгоградская Птица» / PJSC "Volgograd Bird"	Городищенский / Gorodishchensky	17 млн голов птицы / 17 million poultry head	По суммарному годовому сбросу цинка занимает второе место в области после Мираторга / In terms of total annual zinc discharge, it ranks second in the region after Miratorg

В современном мире очистка сточных вод такого типа проводится с применением нескольких технологических процессов, но каждый из них имеет свои ограничения.

Самый распространенный метод очистки стоков – биологический; основанный на активном иле и анаэробном брожении; биореакторы применяется для удаления органических и биогенных примесей. При наличии высокого содержания тяжелых металлов эффективность биологической очистки может снижаться из-за ингибирующего воздействия на микрофлору активного ила, при этом происходит подавление регенерирующей активности бактерий [3, 4].

Физические и физико-химические методы очистки, такие как стандартные коагуляция и флокуляция хорошо удаляют взвешенные вещества. Указанные методы достаточно эффективны, но имеют ряд недостатков [5-7]. При данных методах очистки не всегда возможно достичь нормативов по удалению тяжёлых металлов, что может привести большому скоплению токсичных химических шламов, которые требуют дорогостоящей утилизации [8, 9].

Процессы ультрафильтрации и обратного осмоса относятся к мембранным технологиям. Сейчас на производствах в основном используют именно эти методы, так как это самые эффективные на настоящее время технологии. Мембранные методы показывают высокий уровень очистки сточных вод, но их применение для животноводческих стоков экономически невыгодно, так как происходит быстрое загрязнение мембран, что ведет к их замене и сложностям при регенерации из-за высокого содержания органики [10-12].

Процессы Фентона или озонирование, относящиеся к методам глубокого окисления, хорошо справляются с удалением органики, но удаление тяжелых металлов экономически невыгодно в масштабах агропромышленного комплекса.

Ионообменные технологии, как известно, обеспечивают высокую степень очистки сточных вод, но, к сожалению, они не могут справиться с большим содержанием аммония, так как в животноводческих стоках его концентрация достигает 200-900 мг/л, а ионообмен при содержании аммония свыше 50 мг/л уже не может работать.

Большинство крупных животноводческих комплексов на своих очистных сооружениях для снижения концентрации токсичных тяжелых металлов использует технологию гидроксидного осаждения известью при очистке стоков. По старым нормативам этот метод

показывал хорошую эффективность удаления примесей, но при новых требованиях стабильно наблюдается превышение предельно допустимой концентрации тяжелых металлов. По цинку практически в 3-5 раз, медь превышает в 4-7 раз, а кадмий – не менее 12 раз. Недостатком данного метода является образованный большой объем осадка, утилизация которого с очистных сооружений составляет до 40 % от всех эксплуатационных затрат.

Вышеизложенные применяемые методы и технологии предполагают поиск новых, технологически совершенных методов по удалению тяжелых металлов из многокомпонентных сложных сред, что является важной задачей для очистки животноводческих стоков. Одним из перспективных методов является применение ферритных соединений. Метод построен на образовании стабильных ферритовых соединений в процессе осаждения ионов металлов. По сравнению со стандартной коагуляцией метод ферритизации позволяет перевести растворимые формы ионов металлов в нерастворимые и образовать кристаллическую решетку феррита, что предотвращает вымывание в окружающую среду за счет химической стабильности. Также ферриты обладают магнитными свойствами, что позволяет легко удалить тяжелые металлы из воды при помощи магнитной сепарации. Процесс ферритообразования имеет два способа, один из которых более емкий: в него входят процессы окисления при помощи воздуха и нагревание, а другой – упрощённый, в виде приготовления суспензии на основе железного купороса [13, 14].

Большое значение очищенные сточные воды могут иметь и для орошения сельскохозяйственных культур. При этом вода должна быть полностью нормативного качества [15]. Кроме того, оросительная вода не должна содержать примеси, оказывающие влияние на эффективную эксплуатацию оросительных систем [16, 17].

Целью настоящей работы является экспериментальная оценка возможности достижения действующих нормативов сброса тяжелых металлов при очистке сточных вод животноводческих комплексов методом ферритизации.

Материалы и методы. Объектом исследования являются животноводческие сточные воды, загрязненные тяжелыми металлами. Все эксперименты проводились на модельных растворах, приготовленных в лабораторных условиях. Ниже в таблице 2 приведены данные по стандартным модельным растворам.

Таблица 2 – Модельные растворы
Table 2 – Model solutions

№ п/п / № p/p	Химический элемент / The chemical element	Концентрация (мг/л) / Concentration (mg/l)	Реагент для приготовления / Reagent for preparation
1	Цинк / Zinc	1,9	Сульфат цинка 7-водный, ч.д.а. / Zinc sulfate 7-water, pure
2	Медь / Copper	0,85	Сульфат меди 5-водный, ч.д.а. / Copper sulfate 5-water, pure.
3	Кадмий / Cadmium	0,05	Сульфат кадмия 8/3-водный, ч.д.а. / Cadmium sulfate 8/3-aqueous, h.p.a.
4	Аммоний / Ammonium	280	Хлорид аммония, ч.д.а. / Ammonium chloride, h.d.a.
5	Хлорид натрия / Sodium chloride	900	Хлорид натрия, ч.д.а. / Sodium chloride, pure.

Все химические анализы проводились строго по ГОСТ, погрешность вех экспериментов не превышала 4 %. Уровень содержания загрязнений тяжелыми металлами в сточных водах определяли методом фотоколориметрии с подбором необходимых светофильтров.

Таблица 3 – Фотоколориметрическое определение тяжелых металлов в животноводческих стоках (модельные растворы)
Table 3 – Photocolorimetric determination of heavy metals in livestock wastewater (model solutions)

№ п/п / № p/p	Тяжелый металл / Heavy metal	Индикатор / The indicator	Длина волны (нм) / Wavelength (nm)
1	Цинк / Zinc	Дифенилтиокарбазон / Diphenylthiocarbazine	535
2	Медь / Copper	Натрий диэтилдитиокарбамат / Sodium Diethyl Dithiocarbamate	436
3	Кадмий / Cadmium	Метиловый фиолетовый / Methyl Purple	590

По определению содержания в сточных водах хлорида натрия и аммония был использован титриметрический метод химического анализа. Для определения хлорида натрия был выбран индикатор хромат калия в качестве титранта использовали нитрат серебра. Аммоний титровали раствором соляной кислоты при добавлении индикаторной смеси метилового красного и метиленового синего.

Процесс образования ферритов при очистке сточных вод представляет собой метод химического осаждения, который проходит в несколько этапов.

Первой стадией образования феррита является окисление, то есть в модельные растворы вводился раствор железного купороса. Для преобразования железа из двухвалентнго в трехвалентное необходимо ввести окислитель в данном случае – это перекись водорода.

$$Fe_2+H_2O_2+2H\rightarrow Fe_3+2H_2OFe_2+H_2O_2+2H\rightarrow Fe_3+2H_2O \quad (1)$$

Следующий этап, это образование ферритизации, необходимо добавить раствор щелочи при этом происходит осаждение трехвалентного железа и тяжелых металлов с образованием кристаллической решетки.

$$M_2+2Fe_3+8OH\rightarrow MFe_2O_4\downarrow+4H_2OM_2+2Fe_3+8OH-\rightarrow MFe_2O_4\downarrow+4H_2O \quad (2)$$

Для образования ферритов в качестве основного вещества, участвующего в химической реакции, использовался железный купорос семиводный. Чтобы железо от одной валентности перешло в другую был проведен процесс окисления при добавлении перекиси водорода. В качестве поддерживающего необходимого pH раствора использовался гидроксид натрия. При добавлении сульфата натрия нами имитировалась среда с высоким содержанием солей, что характерно для животноводческих сточных вод.

Результаты и обсуждение. В процессе очистки сточных вод образование ферритов обусловлено методом химического осаждения. При использовании упрощённого метода образования в виде суспензии процесс протекает в несколько стадий.

Первая стадия – образование, при критическом значении водородного показателя в растворе сточных вод происходит гидролиз ионов железа и основных тяжёлых металлов, за счет данного процесса образуется первичный гидроксидный комплекс. Эти комплексы служат первыми стадиями образования кристаллов, то есть бедующего феррита.

Следующим этапом является интенсивный рост кристаллов и отщепление молекул воды от органических соединений. Этот процесс протекает в условиях повышенного pH и температуры, а также при перемешивании, за счет которого происходит столкновение и слипание частиц гидроксидных комплексов.

Таблица 4 – Результаты изменения водородного показателя
Table 4 – Results of the hydrogen index change

№ п/п / № p/p	Наименование химического элемента / Name of the chemical element	Исходная концентрация мг/л / Initial concentration mg/l	Остаточная концентрация мг/л / Residual concentration mg/l	ПДКмг/л / MPC mg/l
Значение pH 7,5 / Meaning pH 7,5				
1	Цинк / Zinc	1,9	1,0	0,01
2	Медь / Copper	0,85	0,24	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,05	0,015	0,01
Значение pH 8,0 / Meaning pH 8,0				
1	Цинк / Zinc	1,9	0,038	0,01
2	Медь / Copper	0,85	0,0045	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,05	0,027	0,01
Значение pH 8,5 / Meaning pH 8,5				
1	Цинк / Zinc	1,9	0,0097	0,01
2	Медь / Copper	0,85	0,00083	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,05	0,0076	0,01
Значение pH 9,0 / Meaning pH 9,0				
1	Цинк / Zinc	1,9	0,0097	0,01
2	Медь / Copper	0,85	0,00083	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,05	0,0075	0,01

Главным этапом формирования феррита является образование шпинели. На данной стадии кристаллическая решетка перестраивается, в ее структуре ионы металлов занимают геометрические позиции в структуре шпинели феррита. Тяжелые металлы внутри кристаллической решетки запираются, за счет чего не происходит обратное вымывание в раствор.

В ходе проведения эксперимента были получены зависимости при разных значениях водородного показателя, а также времени отстаивания.

По результатам исследования зависимости значений pH видно, что самым эффективным по очистке тяжелых металлов является интервал от 8,5 до 8,8, а при значении 9,0 процесс очистки остановился.

Также в ходе работы был выполнен сравнительный экспериментальный анализ стандартного гидроксидного осаждения и ферритизации при разном интервале времени. Все полученные данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительная оценка гидроксидного осаждения и ферритизации
Table 5 – Comparative assessment of hydroxide precipitation and ferritization

№ п/п / №р/р	Наименование химического элемента / Name of the chemical element	Гидроксидное осаждения / Hydroxide precipitation	Ферритизация / Ferritization	Исходная концентрация м/л / Initial concentration mg/l	ПДК мг/л / MPC mg/l
Время отстаивания 0,3 часа / Settling time 0.3 hours					
1	Цинк / Zinc	1,87	1,0	1,9	0,01
2	Медь / Copper	0,74	0,25	0,85	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,047	0,031	0,05	0,01
Время отстаивания 1,0 час / Settling time 1.0 hour					
1	Цинк / Zinc	0,36	0,038	1,9	0,01
2	Медь / Copper	0,073	0,0032	0,85	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,042	0,025	0,05	0,01
Время отстаивания 1,5 часа / Settling time 1.5 hours					
1	Цинк / Zinc	0,187	0,025	1,9	0,01
2	Медь / Copper	0,062	0,0045	0,85	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,037	0,021	0,05	0,01
Время отстаивания 2,0 часа / Settling time 2.0 hours					
1	Цинк / Zinc	0,15	0,0037	1,9	0,01
2	Медь / Copper	0,05	0,00072	0,85	0,001
3	Кадмий / Cadmium	0,02	0,003	0,05	0,01

Дозировка железа при осаждении составляла 75 мг/л, что характерно для действующих нормативов сброса сточных вод. При добавлении свыше 120 мг/л улучшения очистки не наблюдалось, наоборот, эффективность снижалась. Ферритовая суспензия добавлялась так же в различных дозировках, самой оптимальной оказалась в объеме 50 мг/л.

Заключение. Полученные результаты имеют практическое значение, данный метод на сегодняшний день является первым для очистки именно животноводческих стоков. В основном на крупных животноводческих комплексах используются традиционные методы очистки гидроксидным осаждением. По полученным экспериментальным данным, можно утверждать, что использование метода ферритизации достигает значения нормативов сброса сточных вод по всем исследуемым трем тяжелым металлам. Был определен оптимальный интервал времени отстаивания, который составил 2 часа, значение pH от 8,5 до 8,8, а также объем суспензии 50 мг/л. Эффективность очистки животноводческих сточных вод составила 100 %.

Conclusions. The results obtained are of practical imвйportance, and this method is currently the first to be used for the treatment of livestock wastewater. Traditional methods of hydroxide precipitation are commonly used in large livestock complexes. Based on the experimental data obtained, it can be concluded that the use of the ferritization method meets the standards for wastewater discharge for all three heavy metals studied. The optimal settling time was determined to be 2 hours, with a pH value ranging from 8.5 to 8.8 and a slurry volume of 50 mg/l. The efficiency of livestock wastewater treatment was 100 %.

Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2025 году. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Москва, 2026. 678 с. https://rosprirodnadzor.ru/documents/gosudarstvennye_doklady/11201/

2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Волгоградской области в 2025 году. Территориальный орган Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Волгоградской области. Волгоград, 2026. 412 с. https://r34.rosprirodnadzor.ru/documents/gosudarstvennye_doklady/12897/

3. Чертков М. П. Применение биологических методов очистки воды при водоподготовке и очистке сточных вод. Российский инженер. 2017. № 1. С. 44-49.

4. Feng X., Wang X., Chen Z., Chen J. Nitrogen removal from iron oxide red wastewater via partial nitritation – Anammox based on two-stage zeolite biological aerated filter. Bioresource Technology. 2019. Pp. 17-24

5. Москалев Е. В., Кудряшов А. Ф., Рабин А. В. Применение графенового сорбента в фильтрах для очистки поверхностных вод и горячей воды. Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 12. С. 18-23.

6. Назаров В. Д., Назаров М. В. Электрохимические фильтры для очистки природных и сточных вод. Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. № 5 (113). С. 16-24.

7. Smolyanichenko A. S., Yakovleva E. V. 0ptimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase-dispersed contaminants. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. V. 14. No 6. Pp. 34-50.

8. Hajiyeva S. R., Shamilov N. T., Bayramov G. I., Rakida N. M. Ecological effective treatment of industrial wastewater formed in the oil-producing industry by coagulation method. Azerbaijan Chemical Journal. 2021. № 3. Pp. 63-66.

9. Фадеев А. Б., Кручинина Н. Е., Зайцева А. Д. Очистка сточных вод от комплексных соединений меди Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. № 5 (215). С. 93-95.

10. Rashid Khalid et al. Advanced green functional groups for tailoring the membrane features and performance in contaminated wastewater treatment: a comprehensive review. RSC Advances. 2026. No 16. Pp. 22166-22185.

11. Ezugbe Elorm, Rathilal Sudesh. Membrane Technologies in Wastewater Treatment: Review. Membranes. 2020. No 10. V. 89. Art. 10.3390/membranes10050089.

12. Kashif Kk. et al. Opportunities and Challenges in the Synthesis of Geopolymeric Membranes and Their Application in Wastewater Treatment. 2026. 10.1007/978-981-96-1602-2_12.

13. Kochetov G., Prikhna T., Kovalchuk O., Samchenko D. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method Eastern-European J. of Enterprise Technologies. 2018. No 3. Pp. 52-60.

14. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Денисова М. А. Технология очистки стоков птицеводческих предприятий с использованием природных сорбентов при добавлении ферритной суспензии. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 15-22.

15. Овчинников А. С. и др. Агротехника возделывания овощных культур в условиях орошения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4 (48). С. 10-16.

16. Овчинников А. С., Бочарников В. С., Мещеряков М. П. Совершенствование технических средств капельного и внутрипочвенного орошения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 2 (26). С. 146-150.

17. Овчинников А. С., Бочарников В. С. Новые технические решения повышения эффективности ресурсосберегающих способов полива. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1 (25). С. 119-124.

References

1. State Report on the Status and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2025. Federal Service for Supervision of Natural Resources. Moscow, 2026. 678 p. https://rosprirodnadzor.ru/documents/gosudarstvennye_ doklady/11201

2. State Report on the Status and Protection of the Environment of the Volgograd Region in 2025. Federal Service for Volgograd Region Natural Resources Supervision. Volgograd, 2026. 412 p. https://r34.rosprirodnadzor.ru/documents/gosudarstvennye_doklady/12897/

3. Chertkov M. P. Application of biological methods of water purification in water treatment and wastewater treatment. Russian Engineer. 2017. No. 1. Pp. 44-49.

4. Feng X., Wang X., Chen Z., Chen J. Nitrogen removal from iron oxide red wastewater via partial nitritation - Anammox-based two-stage zeolite biological aerated filter. Bioresource Technology. 2019. Pp. 17-24.

5. Moskalov E. V., Kudryashov A. F., Rabin A. V. Application of graphene sorbent in filters for surface water and hot water treatment. Ecology and Industry of Russia. 2017. Vol. 21. No. 12. Pp. 18-23.

6. Nazarov V. D., Nazarov M. V. Electrochemical filters for natural and wastewater treatment. Water purification. Water treatment. Water supply. 2017. No. 5 (113). Pp. 16-24.

7. Smolyanichenko A. S., Yakovleva E. V. Optimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase-dispersed contaminants. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. No. 6. Pp. 34-50.

8. Hajiyeva S. R., Shamilov N. T., Bayramov G. I., Rakida N. M. Ecologically effective treatment of industrial wastewater formed in the oil-producing industry by coagulation method. Azerbaijan Chemical Journal. 2021. No. 3. Pp. 63-66.

9. Fadeyev A. B., Kruchinina N. E., Zaitseva A. D. Wastewater treatment from copper complex compounds. Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2019. Vol. 33. No 5 (215). Pp. 93-95.

10. Rashid Khalid et al. Advanced green functional groups for tailoring the membrane features and performance in contaminated wastewater treatment: a comprehensive review. RSC Advances. 2026. No 16. Pp. 22166-22185.

11. Ezugbe Elorm, Rathilal Sudesh. Membrane Technologies in Wastewater Treatment: Review. Membranes. 2020. No 10. V. 89. Art. 10.3390/membranes10050089.

12. Kashif Kk. et al. Opportunities and Challenges in the Synthesis of Geopolymeric Membranes and Their Application in Wastewater Treatment. 2026. 10.1007/978-981-96-1602-2_12.

13. Kochetov G., Prikhna T., Kovalchuk O., Samchenko D. Research of the treatment of depleted nickel-plating electrolytes by the ferritization method Eastern-European J. of Enterprise Technologies. 2018. No 3. Pp. 52-60.

14. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Denisova M. A. Technology of wastewater treatment from poultry enterprises using natural sorbents with the addition of a ferrite suspension. Proceedings of the Nizhnevolzskiy Agro-University Complex: science and higher vocational education. 2019. No 1 (53). Pp. 15-22.

15. Ovchinnikov A. S. et al. Agricultural technology for cultivating vegetable crops under irrigation. Proceedings of the Nizhnevolzskiy Agro-University Complex: science and higher vocational education. 2017. No 4 (48). Pp. 10-16.
16. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Meshcheryakov M. P. Improvement of technical means of drip and subsurface irrigation. Proceedings of the Nizhnevolzskiy Agro-University Complex: science and higher vocational education. 2012. No 2 (26). Pp. 146-150.
17. Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S. New technical solutions for increasing the efficiency of resource-saving irrigation methods. Proceedings of the Nizhnevolzskiy Agro-University Complex: science and higher vocational education. 2012. No 1 (25). Pp. 119-124.

Информация об авторах
Денисова Мария Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru
Бочарников Виктор Сергеевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru
Бочарникова Олеся Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru
Authors' Information
Denisova Maria Alekseevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru
Bocharnikov Viktor Sergeevich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru
Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-17

THE WATER REGIME PARAMETERS OF CARTHAMUS TINCTORIUS L. COLLECTION SPECIMENS IN THE NORTHERN CASPIAN REGION ARID CONDITIONS

Zaitseva N. A., Klimova I. I.

Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
Solenoe Zaymishhe, Astrakhan region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: rexham@rambler.ru

Received 05.12.2025 Submitted 18.05.2026

The research was conducted as part of the state assignment FNMW-2025-0006 "To conduct a comprehensive study of the gene pool of agricultural crops, identify new genetic sources and donors of valuable traits in order to create environmentally plastic varieties (hybrids) that combine high productivity and resistance to the arid conditions of the Pre-Caspian region."

Summary
This article presents the results of laboratory testing of safflower accessions during the early budding period, using key leaf water parameters to assess their drought tolerance. Based on key leaf water parameters, 25 accessions were selected from 118 accessions that can be recommended for breeding as potentially more drought-tolerant.

Abstract
Introduction. In modern plant breeding, developing varieties and hybrids with increased resistance to stress factors is a priority. Unfavorable climatic conditions, such as droughts, dry winds, precipitation deficits, and temperature fluctuations, pose serious obstacles to the stable development of agricultural production. Drought, as a key stressor, significantly reduces crop productivity, making assessing the drought tolerance of varieties highly relevant. **The object** of the study were safflower cultivars from the VIR collection. **Materials and methods.** The studies were conducted in the laboratory and field conditions of the Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. The experimental setup and necessary observations were carried out according to the methods of B. A. Dospekhov, G. V. Udovenko, and T. A. Lushnikova. **Results and conclusions.** This article presents the results of a comparative study of 119 safflower cultivars of different origins based on key water management parameters. Total leaf water content, water-holding capacity, water deficit, mobile water content, and relative turgorescence were assessed during 2023-2024. It was found that under identical soil and climate conditions and with the same agricultural practices, safflower cultivars exhibit varying degrees of drought tolerance. Leaf water content varied in the studied collection from 80.1 to 89.7 %, with the highest values recorded in accessions K-65, K-603, K-259, K-600, K-320, K-444, K-113, K-490 – 84.0 ... 89.7 %, 7 variety accessions had low values 62.0 ... 69.9 %, 75 accessions had average 71 ... 79 %. The variability of this trait was low Cv – 5.76 %. Water-holding capacity of leaves varied from 10.4 to 48 %, with the highest values in 8 accessions (K-576, K-602, K-570, K-625, K-601, K-614, K-572, K-592). Which can be considered the most drought-resistant. Safflower leaf water deficit indices varied widely, from 28.1 to 73.8 %, with minimum values observed in 8 accessions (K-475, K285, K-113, K-65, K-130, K-500, K-600, and K-421), which can be characterized as the most

drought-resistant based on this parameter. Turgorescence in safflower accessions ranged from 26.3 to 70.9 %, with 64 of the 119 accessions studied exceeding the standard variety Astrakhan 747 in this parameter. These safflower accessions should be included in breeding programs as they exhibit the highest drought tolerance.

Keywords: *safflower, safflower drought resistance, safflower varieties, safflower hybrids, and safflower water consumption.*

Citation. Zaitseva N. A., Klimova I. I. The water regime parameters of Carthamus tinctorius L. collection specimens in the Northern Caspian region arid conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 152-161 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-17.
Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version presented.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest

УДК 633.863.2:631.671.3

ПАРАМЕТРЫ ВОДНОГО РЕЖИМА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ CARTHAMUS TINCTORIUS L. В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

Зайцева Н. А., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Климова И. И., *научный сотрудник*

ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН»
с. Соленое Займище, Черноярский район, Астраханская область, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания FNMW-2025-0006 «Провести комплексное изучение генофонда сельскохозяйственных культур, выделить новые генетические источники и доноры ценных признаков с целью создания экологически пластичных сортов (гибридов), сочетающих высокую продуктивность и устойчивость к аридным условиям Прикаспия».

Актуальность. В современной селекции растений приоритетное значение приобретает создание сортов и гибридов, обладающих повышенной устойчивостью к стрессовым факторам. Неблагоприятные климатические условия, такие как засухи, суховеи, дефицит осадков и колебания температур, создают серьезные препятствия для стабильного развития сельскохозяйственного производства. Засуха, как один из ключевых стрессоров, существенно снижает продуктивность агрокультур, поэтому оценка засухоустойчивости сортов весьма актуальна. **Объект.** Объектом исследований являлись сортообразцы сафлора красильного из коллекции ВИР. **Материалы и методы.** Исследования проводились в лабораторных и полевых условиях ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН». Закладка опытов и проведение необходимых наблюдений проводились согласно методикам Доспехова Б. А., Удовенко Г. В., Лушниковой Т. А. **Результаты и выводы.** В статье представлены результаты сравнительного изучения 119 сортообразцов сафлора, различающихся по происхождению, по основным параметрам водного режима. Проведена оценка по общей оводненности листьев, водоудерживающей способности, водному дефициту, содержанию «подвижной влаги», относительной тургоресцентности в течении 2023-2024 гг. Установлено, что в одинаковых почвенно-климатических условиях и при одинаковой агротехнике сортообразцы сафлора имеют разную степень устойчивости к засухе. Оводненность листьев варьировала в изучаемой коллекции от 80,1 до 89,7 %; наибольшие показатели при этом отмечались у образцов К-65, К-603, К-259, К-600, К-320, К-444, К-113, К-490 – 84,0-89,7 %, у семи сортообразцов показатели были низкие 62,0-69,9 %, у 75 образцов средние 71-79 %. Оценка вариабельности данного признака была низкой Cv-5,76 %. Водоудерживающая способность листьев варьировала от 10,4 до 48 %, при этом наиболее высокие показатели были у 8 образцов (К-576, К-602, К-570, К-625, К-601, К-614, К-572, К-592), которые можно отнести к наиболее устойчивым к засухе. Показатели водного дефицита листьев сафлора варьировали в широком диапазоне от 28,1 до 73,8 %, минимальные значения отмечались у 8 образцов (К-475, К285, К-113, К-65, К-130, К-500, К-600, К-421), которые по данному параметру можно характеризовать как наиболее устойчивые к засухе. Тургоресцентность у образцов сафлора находилась в диапазоне 26,3-70,9 %, по данному показателю из 119 изучаемых образцов стандартный сорт Астраханский 747 превышали 64 образца. Выделившиеся образцы сафлора целесообразно включать в селекционный процесс как наиболее устойчивые к засушливым условиям.

Ключевые слова: *сафлор красильный, засухоустойчивость сафлора красильного, сорта сафлора красильного, гибриды сафлора красильного, водопотребление сафлора красильного.*

Цитирование. Зайцева Н. А., Климова И. И. Параметры водного режима коллекционных образцов Carthamus tinctorius L. в аридных условиях Северного Прикаспия. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 152-161. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-17.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последнее время во многих регионах России засуха стала обычным явлением. Она является одной из основных причин потерь урожая сельскохозяйственных культур. Недостаток воды в почве при высокой температуре и сухости воздуха создает крайне трудную обстановку для развития растений, что сказывается на характере вегетации и физиологических процессах. Астраханская область является зоной с неустойчивым увлажнением, где годовое количество осадков не превышает 240-260 мм, а испаряемость влаги в 4-5 раз превосходит количество выпавших осадков. Участившиеся на данной территории продолжительные засухи и практически полное отсутствие осадков в период вегетации не способствуют получению урожаев культур, возделываемых в богарных условиях [1, 2].

Изменения в глобальных параметрах климата, температурном режиме воздуха и почвы приводят к заметным сдвигам в фенологических фазах развития растений и оказывают влияние на их продуктивность. Засухи активизируют процессы транспирации, и препятствует нормальному поступлению влаги из земли к органам растений, вызывая их увядание и в целом негативно отражаются на их урожайности. От интенсивности и длительности засушливого периода в конечном итоге зависит степень потери урожая.

Способность культуры выдерживать продолжительную нехватку влаги, значительный дефицит воды и обезвоживание тканей определяет устойчивость к засухе [3, 4].

В текущих условиях меняющегося климата оценка реакций растений на природные стрессоры является актуальным направлением для современной селекции [5, 6]. Большое значение при подборе исходного материала и изучении селекционного материала имеет оценка его засухоустойчивости, которая также необходима для наиболее рационального размещения сортов в аридных условиях [7].

Сафлор – одна из немногих сельскохозяйственных культур, которая способна формировать урожаи даже в острозасушливых степных и полупустынных районах. В первую очередь это достигается благодаря способности корней сафлора проникать на глубину до 2 метров и извлекать влагу из глубоких слоев почвы, что позволяет растениям переживать жару и суховеи с минимальными потерями [8, 9]. Сафлор – культура разностороннего использования: кормового, пищевого и технического. В этой связи сафлор имеет большое практическое значение для засушливых территорий.

Существует несколько способов оценки засухоустойчивости растений, как прямых, так и косвенных. Ряд авторов отводят особую роль в устойчивости растений водоудерживающей способности листьев, что определяет актуальность изучения водного режима растений для правильного подбора исходного селекционного материала для дальнейшей селекции.

Цель исследований – оценка засухоустойчивости сортообразцов сафлора красильного по параметрам водного режима листьев.

Материалы и методы. Лабораторно-полевые опыты проводили в 2023-2024 гг. в условиях острозасушливого климата Астраханской области. Объектами исследования служили 119 сортообразцов сафлора различного эколого-географического происхождения из коллекции ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), которые высевались на опытном поле ФГБНУ ПАФНЦ РАН, на светло-каштановых, слабосолонцеватых почвах с содержанием гумуса менее 0,7 %, pH превышающим 7,0-7,4 во второй – третьей декаде апреля. Площадь опытной делянки – 2 м^2. Посев проводился вручную, широкорядным способом с междурядьем 0,30 м, через каждые 20 номеров высевался стандартный сорт «Астраханский 747», повторность трехкратная, густота посева 175 тыс. шт./га. Годы возделывания различались по погодным условиям. Сумма активных температур воздуха за вегетационный период составила в 2023 г. – 2265,7 $^{\circ}$С; в 2024 г. – 3 725,1 $^{\circ}$С. Гидротермический коэффициент периода вегетации сафлора составлял в 2023 г. – 0,55; 2024 г. – 0,2. Оценку показателей водного режима листьев (общая оводненность, водоудерживающая способность, водный дефицит, относительная тургесцентность) проводили по методическим указанием Г.В. Удовенко (1988) в интерпретации Т. А. Лушниковой (2018). У каждого сортообразца сафлора брали по 40 листьев. Листья со средней части куста срезали в утренние часы, в фазе начало бутонизации, помещали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию. Проводили взвешивание по 10 ли-

стьев в трехкратной повторности и оставляли на обезвоживание. Проводили повторное взвешивание через 24 часа. Затем сушили при температуре 105-110 °С. Для определения водного дефицита взвешивали по 5 листьев в двукратной повторности, складывали в чашки Петри заполненные водой и оставляли на 24 часа, затем просушивали фильтровальной бумагой и взвешивали. Сушили при температуре 105-110 °С до постоянной массы, взвешивали.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили стандартными методами с использованием программ Microsoft Excel и Statistika 6.0.

Результаты и обсуждение. Жизнедеятельность растений возможна только при условии высокой оводнённости их тканей, в связи с чем, водный режим является ключевым процессом, играющим существенную роль в обеспечении и поддержании жизни растений [10].

Засухоустойчивые сорта имеют способность сохранять более высокую оводнённость тканей листьев. За счет этого у более засухоустойчивых сортов создаются благоприятные условия для протекания всех физиологических процессов в сравнении с незасухоустойчивыми [11].

Водообмен в листьях сафлора по данным Л. М. Балхова, Ю. Кобилова, А. Абдуллаева (2022) сортоспецифичен и сильно зависит от вегетативной фазы развития растений. При этом отмечается, что наибольшее количество воды растения сафлора теряют в фазы стеблевания и спелости [12].

Из изучаемых сортообразцов сафлора красильного по оводненности листьев выделились 36 образцов имеющие значения от 80,1 до 89,7 %, у сорта стандарта Астраханский 747 – 74,0 % (таблица). Наибольшие значения оводненности тканей, а значит имеющие высокую степень устойчивости к засухе имели образцы К-65 (Узбекистан) – 89,7 %, К-603 (Казахстан) – 88,9 %, К-259 (Казахстан) – 84,8 %, К-600 (Франция) – 84,6 %, К-320 (Австрия) – 84,5 %, К-444 (Мексика) – 84,2 %, К-113 (Индия) – 84,1 %, К-490 (Бирма) – 84,0 %. Низкую оводненность тканей 62,0-69,9 % листьев имели 7 сортообразцов, среднюю от 71 до 79 % – 75 образцов. Степень вариабельности данного параметра низкая Cv – 5,76 %.

Водоудерживающая способность является признаком адаптации растений, и во многом обеспечивает противостояние факторам, отнимающим воду, что существенно сказывается на засухоустойчивости [13]. Образцы сафлора не отличались высокими показателями водоудерживающей способности листьев, которая в среднем варьировала от 10,4 до 48 % (таблица). У сорта стандарта Астраханский 747 – 33,3 %. Наиболее засухоустойчивыми по данному параметру показали себя образцы К-579 (Тунис) – 39,5 %, К-602 (Азербайджан) – 41,4 %, К-570 (Таджикистан) – 42,5 %, К-625 (Россия) – 43,7 %, К-601 (Австралия) – 44,2 %, К-614 (Казахстан) – 44,5 %, К-572 (Китай) – 47,2 %, К-592 (Туркмения) – 48,0 %. Вариабельность признака высокая Cv = 27,89 %.

Растения достаточно быстро расходуют воду, и даже в относительно благоприятных условиях может возникать дисбаланс, который приводит к дефициту воды в тканях. По данным Н. Е. Новиковой и В. И. Зотикова (2015) «водный дефицит характеризует степень недонасыщенности водой и количественно выражается массой воды, недостающей до полного насыщения органов водой (в процентах)». Водный дефицит очень изменчив и отражает динамику между расходом и поступлением воды в растения. Водный дефицит растений увеличивается в период интенсивной жары и засухи [14].

В нашем опыте водный дефицит сортообразцов сафлора сильно варьировал и составлял от 28,1 до 73,8 % (таблица). Минимальные значения водного дефицита фиксировались только у 8 сортообразцов коллекции К-475 (Пакистан) – 28,1 %, К-285 (Индия) – 29,2 %, К-113 (Индия) – 30,2 %, К-65 (Узбекистан) – 33,1 %, К-130 (Йемен) – 35,7 %, К-500 (Венгрия) – 35,7 %, К-600 (Франция) – 36,4 %, К-421 (ГДР) – 39,3 %. Выделившиеся образцы можно отнести к имеющим более высокую степень устойчивости к засухе. Самая низкая засухоустойчивость по параметру водного дефицита листьев отмечалась у образцов – К-288 (Судан) – 73,8 %, К-326 (ФРГ) – 69,4 %, К-325 (США) – 68,5 %, К-453 (Мексика) – 67,9 %. Вариабельность признака средняя Cv = 15,65 %. У стандартного сорта Астраханский 747 водный дефицит составлял 55,6 %.

Содержание «подвижной» влаги варьировало от 27,9 % у К-600 (Франция) до 69,5 % у К-28 (Армения), у стандартного сорта – 49,1 %. Вариабельность данного показателя средняя Cv = 17,47 %.

Таблица – Параметры засухоустойчивости сортообразцов сафлора, среднее 2023-2024 гг.
Table – Drought resistance parameters of safflower varieties, average 2023...2024

№ п/п / No.	№ каталога / Catalog No.	Название / Name	Происхождение / Origin	Показатель водного режима, % / Water regime indicator, %				
				общая оводненность / total water content	водоудерживающая способность / water-holding capacity	водный дефицит / water shortage	содержание «подвижной влаги» / content of "mobile moisture"	относительная тургоресцентность листьев / relative leaf turgorescence
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	-	Астраханский-747 St / Astrakhansky-747 St	Россия / Russia	74,0±1,4	33,3±2,6	55,6±0,6	49,1±4,0	44,5±0,6
2.	К-8	колючий / prickly	Узбекистан / Uzbekistan	71,7±2,3	22,6±1,8	67,4±5,4	45,4±0,5	32,7±5,4
3.	К-9		Узбекистан / Uzbekistan	76,4±0,4	31,1±1,7	59,4±2,2	62,5±2,1	40,7±2,2
4.	К-12		Испания / Spain	79,5±0,9	17,0±4,1	50,0±1,7	45,2±5,0	50,0±1,7
5.	К-17		Афганистан / Afghanistan	75,9±0,6	30,7±1,5	56,9±1,1	48,5±2,1	43,2±1,1
6.	К-25		Узбекистан / Uzbekistan	78,4±0,5	30,0±1,2	54,3±0,1	48,3±0,8	45,8±0,1
7.	К-28		Армения / Armenia	74,1±1,3	25,8±0,5	61,4±3,0	69,5±0,9	38,7±3,0
8.	К-65		Узбекистан / Uzbekistan	89,7±5,1	20,2±2,8	33,1±8,6	45,6±7,8	66,9±8,6
9.	К-72		Эфиопия / Ethiopia	74,2±1,3	28,7±0,7	60,4±2,6	55,6±2,0	39,7±2,6
10.	К-90		Египет / Egypt	79,6±0,9	24,0±1,2	47,9±2,5	67,1±2,1	52,2±2,5
11.	К-113		Индия / India	84,1±2,8	17,0±4,1	30,2±9,8	41,9±6,8	69,9±9,8
12.	К-130		Йемен / Yemen	75,6±0,7	33,7±2,8	35,7±7,5	61,4±3,5	64,4±7,5
13.	К-152		Зап. Китай / West China	77,0±0,1	15,7±4,6	49,4±1,9	46,9±4,5	50,6±1,9
14.	К-195		Франция / France	73,4±1,6	26,5±0,2	62,5±3,5	48,2±1,5	37,5±3,5
15.	К-199	местный / local	Узбекистан / Uzbekistan	76,9±0,2	28,7±0,7	53,4±0,3	45,4±0,9	46,6±0,3
16.	К-258		Франция / France	77,6±0,1	32,2±2,2	56,7±1,1	62,1±2,0	43,4±1,1
17.	К-259	Krasnovodopadskij 4 местный / local	Казахстан / Kazakhstan	84,8±3,1	22,7±1,7	47,7±2,6	55,7±4,8	52,4±2,6
18.	К-265		Польша / Poland	78,0±0,3	22,3±1,9	56,6±1,0	63,4±2,2	43,4±1,0
19.	К-266	N.P.30	Индия / India	83,4±2,5	20,0±2,9	46,6±3,1	52,6±5,3	53,4±3,1
20.	К-268		Чехословакия / Czechoslovakia	82,7±2,2	30,1±1,3	51,6±1,0	50,9±0,9	48,5±1,0
21.	К-270	местный / local	Индия / India	81,6±1,7	30,7±1,6	48,0±2,5	52,9±0,2	54,2±3,4
22.	К-271		Индия / India	78,2±0,4	25,3±0,7	53,2±0,4	42,5±1,0	46,8±0,4
23.	К-273	местный / local	Индия / India	72,8±1,9	30,3±1,4	60,2±2,5	48,3±3,2	39,8±2,5
24.	К-274	местный / local	Индия / India	79,7±1,0	31,4±1,8	41,1±5,3	51,8±0,9	59,0±5,3
25.	К-278		Китай / China	78,4±0,5	26,7±0,1	59,5±2,2	51,2±0,6	40,6±2,2
26.	К-282		Узбекистан / Uzbekistan	79,6±0,9	28,4±0,6	50,7±1,4	57,5±0,3	49,4±1,4

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27.	К-285		Индия / India	82,1±2,0	24,7±0,9	29,2±10,2	41,3±2,9	70,9±10,2
28.	К-288	местный / local	Судан / Sudan	64,9±5,1	23,7±1,3	73,8±8,1	40,9±3,7	26,3±8,1
29.	К-289	местный / local	Судан / Sudan	73,2±1,7	32,3±2,2	63,3±3,8	37,9±3,9	36,8±3,8
30.	К-298	Balladi	Египет / Egypt	66,5±4,4	28,6±0,7	62,5±3,5	52,9±5,1	37,5±3,5
31.	К-299	местный / local	Индия / India	77,6±0,1	24,7±0,9	51,2±1,2	58,5±1,0	48,8±1,2
32.	К-300	Herbe	Канада / Canada	82,0±1,9	23,5±1,4	49,6±1,8	69,3±3,3	50,5±1,8
33.	К-303	6 S Marrakech	Марокко / Morocco	79,6±0,9	10,4±6,8	55,9±0,8	48,6±7,7	44,1±0,8
34.	К-304	51 Selection C.R.A.	Марокко / Morocco	72,0±2,2	23,4±1,4	63,5±3,8	52,6±0,7	36,6±3,8
35.	К-307	S 12 Selection C.R.A.	Марокко / Morocco	76,3±0,4	23,7±1,3	58,2±1,7	44,7±0,9	41,9±1,7
36.	К-310	n 26	Израиль / Israel	75,9±0,6	31,3±1,8	58,3±1,7	42,2±2,4	41,8±1,7
37.	К-317	/47-53/T 2/1/	Австрия / Austria	74,9±1,0	32,7±2,4	51,6±1,0	66,7±3,4	48,4±1,0
38.	К-320	4 /1/	Австрия /	84,5±2,9	17,8±3,7	52,2±0,8	47,4±6,7	47,9±0,8
39.	К-323	A-20448 Gila	США / USA	77,6±0,1	30,2±1,4	52,5±0,7	37,9±1,2	47,6±0,7
40.	К-325	A-20448 n 4051	США / USA	67,1±4,2	29,2±0,9	68,5±5,9	38,0±5,1	31,5±5,9
41.	К-326		ФРГ / FRG	68,7±3,5	30,8±1,6	69,4±6,3	48,2±5,1	30,6±6,3
42.	К-328	Inerme du Draa	Марокко / Morocco	79,1±0,7	30,9±1,6	57,6±1,4	53,2±0,9	42,5±1,4
43.	К-332	S-8 Selection R A	Марокко / Morocco	71,9±2,2	18,8±3,3	66,4±5,0	51,4±1,1	33,7±5,0
44.	К-350	Debeira	Судан / Sudan	78,4±0,5	27,0±0,1	58,4±1,8	56,5±0,4	41,6±1,8
45.	К-351		Эфиопия / Ethiopia	82,8±2,3	26,3±0,2	45,2±3,7	45,5±2,5	54,9±3,7
46.	К-361	местный 3147 / local 3147	Иран / Iran	76,5±0,3	31,1±1,7	54,1±0,1	47,9±2,0	46,0±0,1
47.	К-362	местный 2811 / local 2811	Иран / Iran	75,5±0,8	27,6±0,3	54,0±0,2	59,1±1,0	46,1±0,1
48.	К-364	местный 3247 с шипами / local 3247 with spikes	Иран / Iran	79,7±1,0	20,6±2,6	54,0±0,2	50,2±3,6	46,1±0,1
49.	К-366	Passifik	Иран / Iran	78,8±0,6	28,6±0,7	58,9±2,0	56,7±0,1	41,1±2,0
50.	К-367	местный 3148 / local 3148	Иран / Iran	76,0±0,6	19,3±3,1	53,8±0,1	58,8±2,6	46,2±0,1
51.	К-373	Dart	США / USA	76,8±0,2	18,1±3,6	61,0±2,8	47,7±3,4	39,1±2,8
52.	К-376	n 1043	Афганистан / Afghanistan	79,4±0,9	31,7±2,0	54,1±0,2	59,7±1,1	46,0±0,1
53.	К-378	местный / local	Азербайджан / Azerbai-jan	79,5±0,9	19,8±2,9	57,7±1,5	49,7±3,8	40,3±2,3
54.	К-379	местный / local	Азербайджан / Azerbai-jan	71,0±2,6	21,4±2,3	59,5±2,2	64,6±0,3	40,5±2,2
55.	К-380	R-8	Пакистан / Pakistan	76,0±0,5	11,4±6,4	62,3±3,4	63,4±5,8	37,8±3,4
56.	К-381	Daloka-Sind	Пакистан / Pakistan	76,5±0,3	13,1±5,7	56,5±1,0	55,5±5,3	43,6±1,0
57.	К-382	Khanpur	Пакистан / Pakistan	73,8±1,4	18,3±3,5	59,4±2,2	49,3±2,1	40,7±2,2
58.	К-384	без шипов / without spikes	Пакистан / Pakistan	75,3±0,8	26,0±0,4	46,8±3,0	52,8±0,4	53,2±3,0
59.	К-388	Draam	Марокко / Morocco	77,1±0,1	24,3±1,1	59,6±2,3	54,4±1,0	40,4±2,3
60.	К-395	Frio	США / USA	75,6±0,7	21,2±2,4	58,2±1,7	60,4±1,6	41,8±1,7
61.	К-404		ГДР / GDR	77,3±0,0	16,9±4,1	58,1±1,6	61,3±4,1	42,0±1,6

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
62.	К-405		ГДР / GDR	83,1±2,4	21,8±2,1	48,7±2,2	45,2±4,5	51,4±2,2
63.	К-406		ГДР / GDR	73,3±1,6	28,2±0,5	64,5±4,3	47,0±2,1	35,6±4,3
64.	К-407		США / USA	74,3±1,2	27,3±0,2	63,4±3,8	54,2±1,4	36,7±3,8
65.	К-411	Budakalaszi	Венгрия / Hungary	73,1±1,7	18,9±3,3	61,6±3,1	60,8±1,6	38,4±3,1
66.	К-412	116-4-2	Индия / India	79,8±1,0	19,0±3,3	45,6±3,5	43,7±4,3	54,4±3,5
67.	К-418		Россия / Russia	75,6±0,7	31,9±2,0	57,9±1,6	65,3±2,8	42,1±1,6
68.	К-421		ГДР / GDR	82,4±2,1	17,1±4,0	39,3±6,1	50,3±6,1	60,8±6,1
69.	К-422	местный / local	Россия / Russia	73,0±1,8	22,7±1,7	63,4±3,8	49,3±0,1	36,6±3,8
70.	К-428		Мексика / Mexico	73,7±1,5	24,4±1,0	51,8±0,9	55,0±0,4	48,3±0,9
71.	К-434	Composite-1-A	Испания / Spain	79,3±0,8	24,3±1,1	58,3±1,7	48,0±1,9	41,8±1,7
72.	К-435	с шипами / with spikes	Мексика / Mexico	75,5±0,8	27,5±0,2	54,8±0,3	55,4±1,0	45,2±0,3
73.	К-442		Мексика / Mexico	77,5±0,1	22,1±2,0	55,2±0,5	39,7±2,1	44,8±0,5
74.	К-443		Мексика / Mexico	69,9±3,1	30,2±1,3	66,1±4,9	63,5±4,4	34,0±4,9
75.	К-444		Мексика / Mexico	84,2±2,8	20,7±2,5	47,7±2,6	48,9±5,4	52,4±2,6
76.	К-453		Мексика / Mexico	62,0±6,3	13,2±5,6	67,9±5,7	44,1±0,6	32,1±5,7
77.	К-454		Мексика / Mexico	76,6±0,3	32,5±2,3	58,6±1,9	48,0±2,6	41,4±1,9
78.	К-459	Ute	США / USA	77,4±0,1	29,5±1,0	49,2±2,0	49,2±1,0	50,8±2,0
79.	К-475		Пакистан / Pakistan	83,0±2,3	33,8±2,8	28,1±10,7	53,9±0,5	72,0±10,7
80.	К-476		Пакистан / Pakistan	81,5±1,7	27,6±0,3	47,8±2,6	55,8±1,4	52,2±2,6
81.	К-477	3-70-98-29	Мексика / Mexico	78,6±0,5	22,8±1,7	58,0±1,6	56,8±2,2	42,0±1,6
82.	К-478		Мексика / Mexico	77,4±0,1	20,6±2,6	56,2±0,9	54,0±2,6	43,9±0,9
83.	К-482	Kino	Мексика / Mexico	81,4±1,7	27,4±0,2	51,1±1,2	55,1±1,5	48,9±1,2
84.	К-483		Эфиопия / Ethiopia	76,2±0,4	21,1±2,4	48,7±2,2	62,8±1,9	51,4±2,2
85.	К-484		Эфиопия / Ethiopia	77,2±0,1	14,5±5,1	47,8±2,6	52,9±5,1	52,3±2,6
86.	К-485		Испания / Spain	81,5±1,7	28,6±0,7	46,2±3,2	47,7±1,0	53,8±3,2
87.	К-486		Эфиопия / Ethiopia	74,0±1,4	26,4±0,2	64,2±4,1	58,3±1,1	35,9±4,1
88.	К-487		Бангладеш / Bangladesh	77,8±0,2	19,5±3,0	56,7±1,1	55,2±3,2	43,4±1,1
89.	К-488		Бангладеш / Bangladesh	78,3±0,4	23,2±1,5	42,3±4,8	49,5±2,0	57,7±4,8
90.	К-489		Верхняя Вольта / Upper Volta	80,1±1,1	30,6±1,5	53,2±0,4	67,9±0,4	46,8±0,4
91.	К-490		Бирма / Hungary	84,0±2,7	16,1±4,4	48,0±2,5	54,8±7,2	52,1±2,5
92.	К-496		Венгрия / Hungary	79,8±1,0	25,0±0,8	43,0±4,6	56,0±1,8	57,1±4,6
93.	К-497		Венгрия / Hungary	76,2±0,5	20,2±2,7	59,6±2,3	47,1±2,3	40,4±2,3
94.	К-500		Венгрия / Hungary	77,8±0,2	30,7±1,5	35,7±7,5	49,7±1,3	64,3±7,5
95.	К-504		Венгрия / Hungary	76,4±0,4	26,8±0,1	50,3±1,6	50,5±0,3	49,8±1,6
96.	К-507	V1-96-105 без шипов / V1-96-105 without spikes	Венгрия / Hungary	80,2±1,2	29,7±1,1	57,6±1,5	56,9±0,1	42,4±1,5
97.	К-512	Mogami Beni без шипов / Mogami Beni without spikes	Венгрия / Hungary	77,7±0,2	20,8±2,5	61,0±2,8	36,8±2,7	39,1±2,8
98.	К-514		Мексика / Mexico	69,3±3,3	32,5±2,3	56,9±1,2	58,4±5,6	43,1±1,2
99.	К-542		Мексика / Mexico	76,8±0,2	18,4±3,5	57,4±1,3	51,2±3,3	42,7±1,3

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100.	К-555	Kino	Мексика / Mexico	81,5±1,7	30,3±1,4	44,2±4,0	35,7±0,3	55,8±4,0
101.	К-556	Noroeste 1	Мексика / Mexico	73,5±1,6	37,8±4,5	59,8±2,3	42,8±6,0	40,3±2,3
102.	К-557	S-319	Канада / Canada	71,0±2,6	28,3±0,6	61,7±3,1	44,9±3,1	38,3±3,1
103.	К-565	Saffire	Канада / Canada	77,2±0,1	32,3±2,2	54,6±0,2	37,0±2,3	45,5±0,2
104.	К-568		Канада / Canada	74,2±1,3	37,2±4,2	51,9±0,9	30,9±5,5	48,2±0,9
105.	К-570		Таджикистан / Tajikistan	73,4±1,6	42,5±6,4	58,1±1,7	31,2±8,0	41,9±1,7
106.	К-572		Китай / China	78,3±0,4	47,2±8,3	57,4±1,4	53,6±7,9	42,6±1,4
107.	К-576		Армения / Armenia	80,3±1,2	26,8±0,1	59,1±2,0	39,8±1,3	41,0±2,0
108.	К-579	местный / local	Тунис / Tunisia	79,3±0,8	39,5±5,2	44,6±3,9	47,9±4,3	55,5±3,9
109.	К-585		Молдавия / Moldova	80,6±1,3	32,7±2,4	53,1±0,4	30,0±1,0	46,9±0,4
110.	К-592		Туркмения / Turkmenistan	78,0±0,3	48,0±8,6	44,9±3,8	46,3±8,4	55,1±3,8
111.	К-599		Канада / Canada	82,6±2,2	36,3±3,9	58,9±2,0	48,7±1,7	41,2±2,0
112.	К-600	г.о.	Франция / France	84,6±3,0	35,9±3,7	36,4±7,2	27,9±0,7	63,6±7,2
113.	К-601	Sironaria	Австралия / Australia	72,0±2,2	44,2±7,1	58,4±1,8	34,5±9,2	41,6±1,8
114.	К-602	Sirothora	Азербайджан / Azerbaijan	75,8±0,6	41,4±5,9	57,5±1,4	52,5±6,5	42,6±1,4
115.	К-603	местный / local	Казахстан / Kazakhstan	88,9±4,8	36,4±3,9	62,3±3,4	49,6±0,9	37,7±3,4
116.	К-608	Циркас / Cirkas	Казахстан / Kazakhstan	77,6±0,1	28,0±0,4	57,2±1,3	34,2±0,3	42,8±1,3
117.	К-614	Ахрам / Akhram	Казахстан / Kazakhstan	78,7±0,6	44,5±7,2	53,3±0,3	34,1±6,6	46,7±0,3
118.	К-625	Молдир 2008 / Moldir 2008	Россия / Russia	77,8±0,2	43,7±6,9	52,4±0,7	43,2±6,7	47,6±0,7
119.	К-636	Хамелеон / Khameleon	Россия / Russia	82,6±2,2	39,4±5,1	42,2±4,9	40,8±2,9	57,9±4,9
Среднее / Average				77,3	26,9	54,1	50,4	45,9
SD				4,45	7,50	8,46	8,80	8,49
Cv, %				5,76	27,89	15,65	17,47	18,47

Тургор служит положительным показателем внутреннего водного баланса у растений, выражая в процентах начальное количество воды относительно ее общего содержания [15].

На основе полученных результатов изучения было выявлено, что тургоресцентность листьев сафлора выделенных нами образцов находилась в пределах 26,3-70,9 % (таблица), высокие показатели наблюдалась у сортообразцов К-421 (ГДР) – 60,8 %, К-600 (Франция) – 63,6 %, К-500 (Венгрия) – 64,3 %, К-130 (Йемен) – 64,4 %, К-65 (Узбекистан) – 66,9 %, К-113 (Индия) – 69,9 %, К-285 (Индия) – 70,9 %, К-475 (Пакистан) – 72,0 %. Тургоресцентность листьев у сорта стандарта Астраханский 747 составляла 44,5 %. Из 119 изученных сортообразцов 64 превышали стандартный сорт по данному показателю. Вариабельность признака средняя Cv = 18,47.

Заключение. В работе приведены итоги испытаний коллекционных образцов сафлора красильного в период начала бутонизации по основным параметрам водного режима листьев для оценки их устойчивости к засухе.

Оценка сортообразцов сафлора имеющих происхождение из различных эколого-географических зон, по параметрам водного режима при возделывании в агроклиматических условиях Северного Прикаспия позволила идентифицировать образцы, обладающие повышенной устойчивостью к засухе.

По результатам изучения были выделены, по различным параметрам водного режима листьев, 25 образцов: К-65 (Узбекистан), К-130 (Йемен), К-113, К-285 (Индия), К-288 (Судан), К-320 (Австрия), К-325 (США), К-326 (ФРГ), К-421 (ГДР), К-444, К-453 (Мексика), К-475 (Пакистан), К-490 (Бирма), К-500 (Венгрия), К-570 (Таджикистан), К-572 (Китай), К-579 (Тунис), К-592 (Туркмения), К-600 (Франция), К-601 (Австралия), К-602 (Азербайджан), К-259, К-603, К-614 (Казахатан), К-625 (Россия), которые можно рекомендовать для селекционной работы, как потенциально более засухоустойчивые, имеющие высокую оводненность листьев, способные удерживать воду в тканях листьев и сохранять тургоресцентность тканей.

Conclusion. This paper presents the results of testing collection samples of safflower during the early budding period using key leaf water parameters to assess their drought tolerance.

Evaluation of safflower cultivars from different ecological and geographical zones, using water parameters during cultivation in the agroclimatic conditions of the Northern Caspian region, allowed us to identify samples with increased drought tolerance.

Based on the results of the study, 25 samples were identified based on various parameters of leaf water regime: K-65 (Uzbekistan), K-130 (Yemen), K-113, K-285 (India), K-288 (Sudan), K-320 (Austria), K-325 (USA), K-326 (FRG), K-421 (GDR), K-444, K-453 (Mexico), K-475 (Pakistan), K-490 (Burma), K-500 (Hungary), K-570 (Tajikistan), K-572 (China), K-579 (Tunisia), K-592 (Turkmenistan), K-600 (France), K-601 (Australia), K-602 (Azerbaijan), K-259, K-603, K-614 (Kazakhstan), K-625 (Russia), which can be recommended for breeding work as potentially more drought-resistant, having high leaf water content, capable of retaining water in leaf tissues and maintaining tissue turgorescence.

Библиографический список

1. Ионова Е. В. Засуха и засухоустойчивость зерновых колосовых. Зерновое хозяйство России. 2011. № 2. С. 37-41.
2. Кибальник О. П., Ларина Т. В., Каменева О. Б., Семин Д. С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (4). С. 9-17.
3. Дубинина О. А. Устойчивость озимой пшеницы к основным стрессовым факторам окружающей среды и погодных условий (обзор). Зерновое хозяйство России. 2017. № 1 (49). С. 23-26. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28825290
4. Балашов В. В., Агафонов А. К. Реакция сортов озимой мягкой пшеницы на засуху в подзоне светло-каштановых почв Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2011. № 3 (23). С. 1-5.
5. Ионова Е. В., Некрасов Е. И. Физиологические методы оценки засухоустойчивости сортов и линий озимой пшеницы. Зерновое хозяйство России. 2013. № 5 (29). С. 12-21.
6. Кочубей А. А., Заремук Р. Ш. Исследование засухоустойчивости гибридного материала сливы домашней в условиях юга России. Аграрная наука. 2020 № 6. С. 94-98.
7. Мельник С. В., Жолобова О. О. Оценка влияния осмотического стресса на прорастание семян кустарниковых растений в культуре in vitro. Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 10-15.
8. Karizi A., Ahmadi S., Honar T., Sepaskhah A. Safflower gas exchange, leaf water potential, and water-saving irrigation in surface and subsurface drip irrigation systems at different lateral spacings. BMC Plant Biology. No 25. Art. 1633.

9. Abdiazar N., Zahedi H., Sharghi Y., Sanavy S., Alipour A. Enhancing the Tolerance of safflower Seedlings to Osmotic Stress through Seed Priming using Glutathione, Epibrassinolide, Chitosan and Folic Acid. Egyptian Journal of Agricultural Research. 2024. No 102 (2). Pp. 208-216.

10. Денисова С. Г., Реут А. А. Водный режим представителей рода *Chrysanthemum* при интродукции на Южном Урале. Субтропическое и декоративное садоводство. 2020. № 74. С. 111-120.

11. Некрасов Е. И., Марченко Д. М., Иванисов М. М. Оценка адаптивных свойств сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Зерновое хозяйство России. 2022. № 2. С. 54-58.

12. Балхова Л. М., Кобилов Ю., Абдуллаев А. Особенности параметры водообмена в листьях некоторых сортов сафлора. Вестник педагогического университета (Естественных наук). 2022. № 2 (14). С. 209-212.

13. Некрасов Е. И., Ионова Е. В. Водоудерживающая способность сортов озимой мягкой пшеницы при различных условиях выращивания. Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 122-130.

14. Новикова Н. Е., Зотиков В. И. Физиологические основы устойчивости сельскохозяйственных растений. Орел: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2015. 176 с.

15. Silva M., Santos H., Ferreira L., Silva D., Santos J., Bortolheiro F. Physiological Changes and Yield Components of Safflower (Carthamus tinctorius L.) Lines as a Function of Water Deficit and Recovery in the Flowering Phase. Agriculture. No 13. Art. 558.

References

1. Ionova E. V. Drought and Drought Resistance of Cereal Cereals. Grain Economy of Russia. 2011. No. 2. Pp. 37-41.

2. Kibalnik O. P., Larina T. V., Kameneva O. B., Semin D. S. Assessment of Drought Resistance of CMS Lines of Sorghum Based on Various Sources of Sterility. Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding. 2021. No. 182 (4). Pp. 9-17.

3. Dubinina O. A. Winter wheat resistance to the main environmental and weather stress factors (review). Grain Economy of Russia. 2017. No. 1 (49). Pp. 23-26. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28825290

4. Balashov V. V., Agafonov A. K. Response of Winter Soft Wheat Varieties to Drought in the Light-Chestnut Soil Subzone of the Volgograd Region. Izvestiya of the Lower Volga Agro-University Complex. 2011. No. 3 (23). Pp. 1-5.

5. Ionova E. V., Nekrasov E. I. Physiological Methods for Assessing the Drought Resistance of Winter Wheat Varieties and Lines. Grain Economy of Russia. 2013. No. 5 (29). Pp. 12-21.

6. Kochubey A. A., Zaremuk R. Sh. Research of the drought resistance of the hybrid material of the domestic plum in the conditions of the south of Russia. Agrarian science. 2020 No. 6. Pp. 94-98.

7. Melnik S. V., Zholobova O. O. Assessment of the influence of osmotic stress on the germination of seeds of shrubby plants in the culture in vitro. Scientific and Agronomic Journal. 2023. No. 1 (120). Pp. 10-15.

8. Karizi A., Ahmadi S., Honar T., Sepaskhah A. Safflower gas exchange, leaf water potential, and water-saving irrigation in surface and subsurface drip irrigation systems at different lateral spacings. BMC Plant Biology. No 25. Art. 1633.

9. Abdiazar N., Zahedi H., Sharghi Y., Sanavy S., Alipour A. Enhancing the Tolerance of safflower Seedlings to Osmotic Stress through Seed Priming using Glutathione, Epibrassinolide, Chitosan and Folic Acid. Egyptian Journal of Agricultural Research. 2024. No 102 (2). Pp. 208-216.

10. Denisova S. G., Reut A. A. Water regime of representatives of the genus Chrysanthemum during introduction in the Southern Urals. Subtropical and ornamental horticulture. 2020. No. 74. Pp. 111-120.

11. Nekrasov E. I., Marchenko D. M., Ivanisov M. M. Assessment of the adaptive properties of winter soft wheat varieties selected by the Federal State Budgetary Scientific Institution "Don Research Center". Grain Economy of Russia. 2022. No. 2. Pp. 54-58.

12. Balkhova L. M., Kobilov Yu., Abdullaev A. Features of the parameters of water exchange in the leaves of some varieties of safflower. Bulletin of the Pedagogical University (Natural Sciences). 2022. No. 2 (14). Pp. 209-212.

13. Nekrasov E. I., Ionova E. V. Water-retention capacity of winter soft wheat varieties under different growing conditions. Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science. 2020. No. 3 (23). Pp. 122-130.

14. Novikova N. E., Zotikov V. I. Physiological foundations of agricultural plants' resistance. Orel: Kartush Polygraphic Company LLC, 2015. 176 p.

15. Silva M., Santos H., Ferreira L., Silva D., Santos J., Bortolheiro F. Physiological Changes and Yield Components of Safflower (Carthamus tinctorius L.) Lines as a Function of Water Deficit and Recovery in the Flowering Phase. Agriculture. No 13. Art. 558.

Информация об авторах

Зайцева Надежда Александровна, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8), e-mail: konf_pniiaz@mail.ru

Климова Ирина Ивановна, научный сотрудник, ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН» (Российская Федерация, 416251, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, 8), e-mail: irina.ssd1981@yandex.ru

Authors' Information

Zaitseva Nadezhda Aleksandrovna, Senior Researcher, Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoye Zaymishche village, Severny Quarter, 8), e-mail: konf_pniiaz@mail.ru

Klimova Irina Ivanovna, Researcher, Caspian Agrarian Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 416251, Astrakhan Region, Chernoyarsky District, Solenoye Zaymishche village, Severny Quarter, 8), e-mail: irina.ssd1981@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-18

THE BLACK BEETLES COMMUNITIES (COLEOPTERA, TENEBRIONIDAE) COMPOSITION, STRUCTURE, AND SPATIAL DISTRIBUTION FEATURES IN THE IRRIGATED AGRICULTURAL LANDSCAPE

Komarov E. V., Komarova O. P.

All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture VNIIOZ – the branch of VNIIGiM Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: komarova62@rambler.ru

Received 12.02.2026 Submitted 28.03.2026

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 species composition and structure of the herpetobia insect community in an irrigated agricultural landscape are considered. It is shown that the darkling beetles occupy the second place in terms of abundance. 14 species of darkling beetles have been identified, and the distribution of these species in the agricultural landscape has been analyzed. The research results indicate that fallow lands can serve as sources of migration of pest darkling beetles to cultivated fields, posing a threat to the phytosanitary state of the irrigated agricultural landscape.

Abstract

Introduction. Species of the darkling beetles' family (Coleoptera: Tenebrionidae) play an important role in natural and anthropogenic landscapes, including they are capable of causing serious damage to cultivated plants in the fields. However, to date, in the South-East of the European part of Russia, the features of the spatial distribution of darkling beetles in agricultural landscape have not been studied and the influence of its structural elements on the composition of darkling beetles' communities, as well as the possibility of serving as accumulators of harmful species of this family, has not been assessed. **Object.** Communities of darkling beetles in irrigated agricultural landscape. **Materials and methods.** The study of the entomological fauna of the soil layer was carried out in the irrigated agricultural landscape of the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture in 2022-2025. Generally accepted methods of accounting for insects in entomology were used – soil traps with a fixing liquid (4 % acetic acid solution), as well as manual collection. **Results and conclusion.** The article analyzed the species composition and structure of herpetobium insect communities. In the local irrigated agrolandscape, 14 species of darkling beetles have been identified, which is about 25 % of the known fauna of this family of the region. At the same time, it was established that more than 90 % of the abundance of individuals in the community is formed due to four dominant species – *Tentiria nomas, Blaps halophila, Gonocephalum granulatum pusillum* and *Opatrum sabulosum*. It has been established that in the structure of the agricultural landscape, in terms of the relative abundance of individuals, darkling beetles occupy second place after ground beetles (37 and 53 %, respectively), which emphasizes their importance among the rest of the ground beetles of the agricultural landscape. The results of the study of the distribution of darkling beetles by elements of the agricultural landscape showed that a number of species of the family (*Pedinus femoralis, O. sabulosum, G. granulatum pusillum, B. halophila* and *T. nomas*) inhabit mainly irrigated and non-irrigated cultivated fields, the rest of the species are confined to natural steppe habitats, forest belt and thalweg beams, *M. tibialis* – only in the forest belt, *Nalassus sareptanus* found in the thalweg beam, singularly found on the fallow land and in agrocenoses, and *Oodescelis polita* is noted in the forest belt, thalweg beam and on the fallow land, *Crypticus quisquilius* prefers the thalweg beam, forest belt, fallow land. It was concluded that individual elements of the agricultural landscape, primarily fallow land, are sources of migration of species of darkling beetles, which are serious pests of a wide range of crops. Among the species of phytophages, the most harmful are *G. granulatum pusillum*, *B. halophila* and *T. nomas*, which are highly abundant in 1-3-year-old fallow land. In this regard, it was concluded that fallow land poses a serious threat to the phytosanitary state of the irrigated agricultural landscape.

Keywords: *entomological complexes, irrigated agricultural landscapes, black beetles, ground beetles, hard-winged insects*

Citation. Komarov E. V., Komarova O. P. The black beetles communities (*Coleoptera, Tenebrionidae*) composition, structure, and spatial distribution features in the irrigated agricultural landscape. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 162-169 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-18.

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 595.767.29:632.7:631.67

СОСТАВ, СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СООБЩЕСТВ ЖУКОВ-ЧЕРНОТЕЛОК (COLEOPTERA, TENEBRIONIDAE) В ОРОШАЕМОМ АГРОЛАНДШАФТЕ

Комаров Е. В., *кандидат биологических наук*
Комарова О. П., *кандидат сельскохозяйственных наук*

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – 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. Виды семейства чернотелок (Coleoptera: Tenebrionidae) играют важную роль в естественных и антропогенно-измененных ландшафтах, в том числе они способны наносить серьезный ущерб культурным растениям на полях. Однако до настоящего времени на территории Юго-Востока европейской части России не изучались особенности пространственного распределения видов чернотелок в агроландшафтах и не оценивалось влияние их структурных элементов на состав сообществ чернотелок, а также возможность служить накопителями вредных видов этого семейства. **Объект исследований** – сообщества жуков-чернотелок в орошаемом агроландшафте. **Материалы и методы.** Изучение энтомофауны напочвенного яруса проводили в орошаемом агроландшафте Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия в 2022-2025 гг. Использовали общепринятые в энтомологии методы учета насекомых – почвенные ловушки с фиксирующей жидкостью (4 %-ный раствор уксусной кислоты), а также ручной сбор. **Результаты и выводы.** В статье проанализирован видовой состав и структура сообществ насекомых герпетобия. В локальном орошаемом агроландшафте выявлено 14 видов чернотелок, что составляет около 25 % известной фауны этого семейства региона. При этом установлено, что более 90 % обилия особей в сообществе формируется за счет четырех доминантных видов – *Tentiria nomas*, *Blaps halophila*, *Gonocephalum granulatum pusillum* и *Opatrum sabulosum*. Установлено, что в структуре агроландшафта по относительному обилию особей чернотелки занимают второе место после жужелиц (37 и 53 % соответственно), что подчеркивает их значение среди остальных напочвенных жесткокрылых агроландшафта. Результаты изучения особенностей распределения чернотелок по элементам агроландшафта показали, что ряд видов семейства (*Pedinus femoralis*, *O. sabulosum*, G. *granulatum pusillum*, *B. halophila* и *T. nomas)* заселяют в основном орошаемые и неорошаемые агроценозы, остальные виды приурочены к естественным степным местообитаниям, лесополосе и тальвегу балки. *Asida lutosa, Lagria hirta*, *Cteniopus sulphuripes, Mycetochara auricoma* постоянно присутствовали в лесополосе, на склоне и в тальвеге балки, *M. tibialis* – только в лесополосе, *Nalassus sareptanus* обнаружен в тальвеге балки, единично встречаясь на залежи и в агроценозах, а *Oodescelis polita* отмечен в полезащитной лесополосе, тальвеге балки и на залежи. *Crypticus quisquilius* предпочитает тальвег балки, лесополосу, залежь. Сделан вывод о том, что отдельные элементы агроландшафта, в первую очередь, залежные земли, являются источниками миграции видов чернотелок, являющихся серьезными вредителями широкого спектра сельскохозяйственных культур. Среди видов фитофагов наиболее вредоносны *G. granulatum pusillum*, *B. halophila* и *T. nomas*, в высокой численности отмеченные на 1-3-х летней залежи. В связи с этим сделан вывод, что залежные земли представляют серьезную угрозу фитосанитарному состоянию орошаемого агроландшафта.

Ключевые слова: *энтомокомплексы, орошаемые агроландшафты, жуки-чернотелки, жужелицы, жесткокрылые насекомые.*

Цитирование. Комаров Е. В., Комарова О. П. Состав, структура и особенности пространственного распределения сообществ жуков-чернотелок (Coleoptera, Tenebrionidae) в орошаемом агроландшафте. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 162-169. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-18.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Состав и структура сообществ жуков-чернотелок (Tenebrionidae) и жужелиц (Carabidae) активно изучаются в последние десятилетия, так как виды этих семейств используются в качестве репрезентативных биоиндикаторов состояния естественных и антропогенно-измененных экосистем, способных оперативно отражать происходящие в них изменения под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. С этой целью анализировались сообщества чернотелок и жужелиц в степях Центрального Казахстана [1],

горных котловинах Тувы и Алтая [2], Новосибирской области [3], Северо-Западном Китае [4] и ряде других регионов, как в России, так и за ее пределами. Однако, на территории европейской России, в частности в Нижнем Поволжье, известные авторам работы по представителям этих таксономических групп до настоящего времени были посвящены изучению их фауны, а также биоэкологическим особенностям отдельных, как правило, хозяйственно-значимых видов [5-7]. Структура сообществ чернотелок и особенности их распределения в антропогенных ландшафтах остаются за пределами внимания исследователей в отличие от жужелиц, которые в этом аспекте относительно полно изучались в агроландшафтах, в том числе и в Волгоградской области [8, 9, 10].

Следует отметить, что ряд видов чернотелок отмечен в качестве вредителей сельскохозяйственных культур, так как их личинки, развивающиеся в почве, питаются подземными частями растений, а имаго могут наносить существенный вред всходам культурных растений [11, 12, 13]. С другой стороны, чернотелки играют важную роль в функционировании степных экосистем, участвуя в процессе первичной переработки растительного опада и ускоряя его минерализацию [12]. Поэтому изучение состава их сообществ и особенностей распределения в агроландшафтах имеет как практическое, так и теоретическое значение. В связи с этим нами была поставлена задача изучить состав, структуру и особенности распределения видов чернотелок в локальном агроландшафте на территории Волгоградской области.

Материалы и методы. Исследования проводили с 2022 по 2025 гг. в агроландшафте на землях Опытной станции «Орошаемая» Всероссийского НИИ орошаемого земледелия в рамках проводящегося здесь мониторинга состояния длительно орошаемых агроландшафтов. Агроландшафт располагается на типичных для района исследований комплексных светло-каштановых почвах и включает в себя как обрабатываемые орошаемые и неорошаемые поля, так и прилегающие к ним лесополосы, плакорные и склоновые участки степи.

Учеты напочвенных жесткокрылых проводили на трансект-катене, проходящей через поля с посевами кукурузы и суданской травы, залежь, лесополосу, типчаково-ковыльную степь на плакоре, склон балки Западная с разнотравно-злаковой растительностью и ее тальвег (рисунок 1).

Рисунок 1 – Места установки линий почвенных ловушек в агроландшафте.
Условные обозначения: ДП 1 – кукуруза (орошение), ДП 2 – суданская трава (без орошения), ДП 3 – залежь, ДП 4 – лесополоса, ДП 5 – степь, плакор, ДП 6 – склон балки, ДП 7 – тальвег балки
Figure 1 – Locations of soil trap lines in the agricultural landscape.
Legend: DP 1 – corn (irrigation), DP 2 – Sudanese grass (no irrigation), DP 3 – fallow land, DP 4 – forest belt, DP 5 – steppe, DP 6 – ravine slope, DP 7 – ravine talweg

Для учетов применяли общепринятый метод почвенных ловушек [14], в качестве которых использовали 0,5-литровые пластиковые стаканы с 4 % раствором уксусной кислоты в качестве фиксатора. Периоды учетов в естественных стациях и на залежи – с апреля по ноябрь, а на обрабатываемых землях – от посева культуры до ее уборки. В каждом биотопе ловушки устанавливали линиями по 5 шт. через 5 м. Выемку насекомых проводили каждые 7-10 дней. Для оценки роли отдельных видов использована модифицированная шкала Ренконена: более 5 % от суммарного обилия – доминанты, 2-5 % – субдоминанты, 1-2 % – постоянные виды, менее 1 % – редкие, а встречавшиеся не ежегодно – единичные.

Помимо чернотелок, для сравнительного анализа нами были выбраны связанные с напочвенным и почвенным ярусами виды семейств жужелиц, быстрянок (Anthicidae), кожеедов (Dermestidae), карапузиков (Histeridae), щелкунов (Elateridae), усачей-корнегрызов (род *Dorcadion*) и пилюльщиков (Byrrhidae).

Результаты и обсуждение. С 2022 года в ловушках было учтено и определено в ходе камеральной обработки более 33 тыс. экз. жесткокрылых насекомых, относящихся к 179 видам изучаемых семейств. По числу видов в сообществе напочвенных жесткокрылых агроландшафта в целом абсолютно преобладают жужелицы. Представители остальных таксономических групп значительно уступают им по этому показателю (рисунок 2).

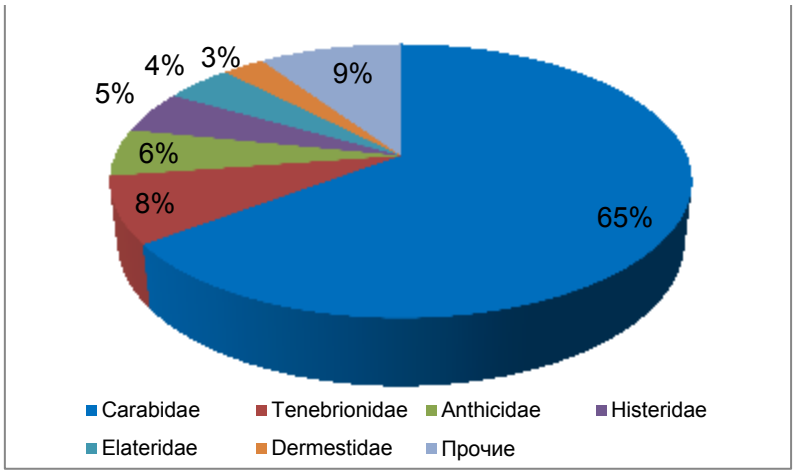


Рисунок 2 – Видовое разнообразие семейств напочвенных жесткокрылых в агроландшафте, видов (2022-2025 гг.)
Figure 2 – Species diversity of ground-dwelling beetle families in the agricultural landscape, species (2022-2025)

Однако по суммарному обилию учтенных за этот период особей каждого семейства, чернотелки находятся на втором месте, что подчеркивает их значение среди остальных напочвенных жесткокрылых агроландшафта (рисунок 3).

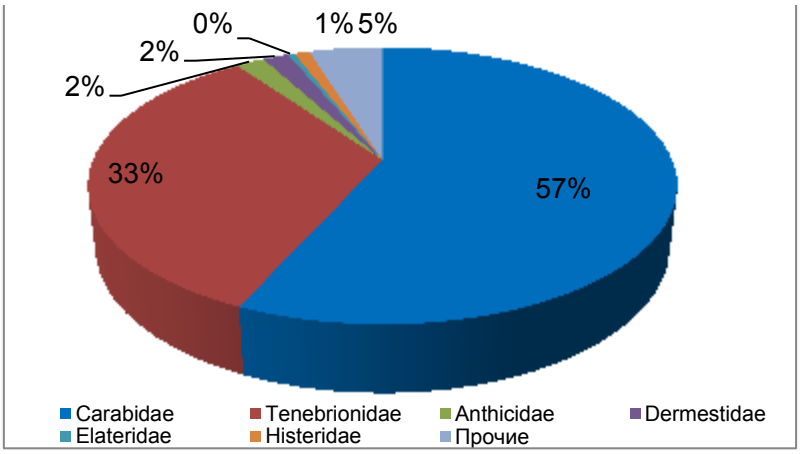


Рисунок 3 – Суммарное обилие представителей различных семейств в агроландшафте, экз. (2022-2025 гг.)
Figure 3 – Total abundance of representatives of various families in the agricultural landscape, spec. (2022-2025)

За период учетов во всех изучавшихся элементах агроландшафта выявлено 14 видов семейства жуков-чернотелок, что составляет около 25 % известной фауны семейства в регионе: *Lagria hirta* (Linnaeus, 1758); *Cteniopus sulphuripes* (Germar, 1824); *Mycetochara auricoma* (Reitter, 1884); *Pimelia subglobosa* (Pallas, 1721); *Asida lutosa* Solier, 1836; *Tentyria nomas* (Pallas, 1781); *Nalassus sareptanus* (Allard, 1876); *Blaps halophila* Fischer von Waldheim, 1822; *Oodescelis polita* (Sturm, 1807); *Pedinus femoralis* (Linnaeus, 1767); *Gonocephalum granulatum pusillum* (Fabricius, 1791); *Opatrum sabulosum* (Linnaeus, 1761); *Melanimon tibialis* (Fabricius, 1781); *Crypticus quisquilius* (Linnaeus, 1761). При этом установлено, что более 90 % обилия особей в сообществе формируется за счет четырех доминантных видов – *T. nomas*, *B. halophila*, *G. granulatum pusillum* и *O. sabulosum*. Субдоминантами были 2 вида – *C. quisquilius* и *P. femoralis*, постоянными – *A. lutosa* и *O. polita.* Остальные 6 видов относятся к редким и единичным (рисунок 4).

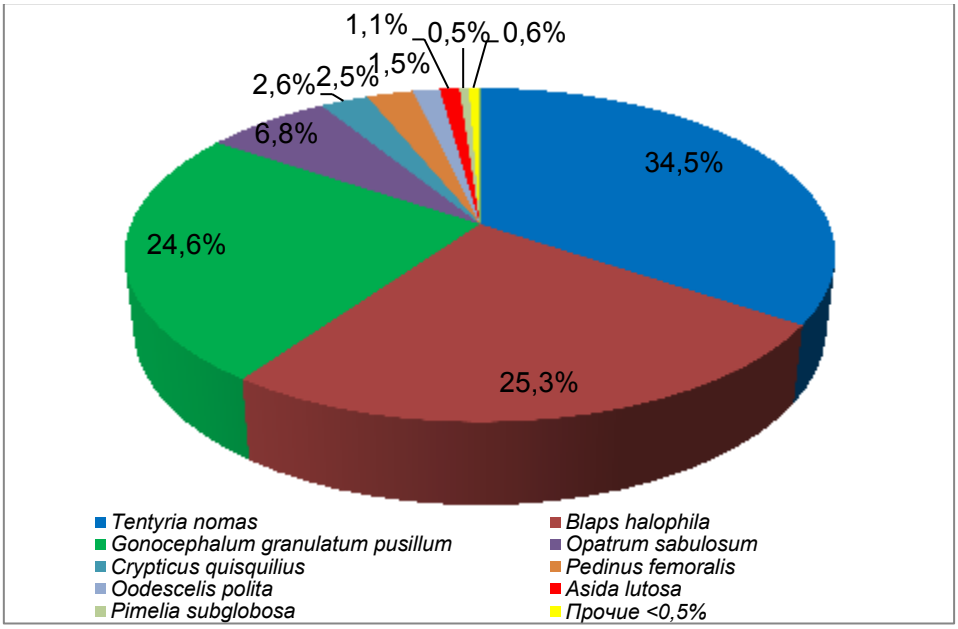


Рисунок 4 – Видовая структура сообщества чернотелок в агроландшафте, % (2022-2025 гг.)
Figure 4 – Species composition of the black beetle community in the agricultural landscape, % (2022-2025)

Результаты изучения распределения чернотелок по элементам агроландшафта (рисунок 5) показали, что ряд видов семейства приурочен только к естественным или слабо нарушенным местообитаниям и не обнаружен на обрабатываемых полях. К ним в первую очередь следует отнести *A. lutosa* – степной вид, встречающийся в регионе на восточной границе своего ареала. В агроландшафте постоянно присутствовал в лесополосе, на склоне и в тальвеге балки Западная, а также единственный экземпляр обнаружен на 3-х летней залежи.

Аналогичное распределение наблюдается у *L. hirta*, *C. sulphuripes* и включенного в Европейский Красный список видов, находящихся под угрозой исчезновения, *M. auricoma*[11] Западнопалеарктический вид *M. tibialis*, обитающий в пределах своего ареала на супесчаных и песчаных почвах, присутствовал в учетах только в лесополосе.

Европейский степной вид *N. sareptanus* (0,3 % от суммарного обилия) в относительно высокой численности обнаружен в тальвеге балки, единично встречаясь на залежи и в орошаемом посеве кукурузы, а максимальная численность западнопалеарктического *O. polita* (1,5 %) наблюдалась в полезащитной лесополосе, тальвеге балки и на залежи.

Субдоминантные виды *C. quisquilius* и *P. femoralis* (соответственно 2,6 и 2,5 % от суммарного обилия) по-разному распределяются по элементам агроландшафта. *C. quisquilius* демонстрирует явное предпочтение к мезофитным местообитаниям с густой

[11]Mycetochara auricoma. https://www.iucnredlist.org/species/86884203/887314730 (дата обращения: 1.02.2014)

растительностью (тальвег балки, лесополоса, залежь), не заселяя при этом обрабатываемые поля и избегая ксерофитных стаций, тогда как западнопалеарктический *P. femoralis* относительно равномерно встречается во всех элементах агроландшафта.

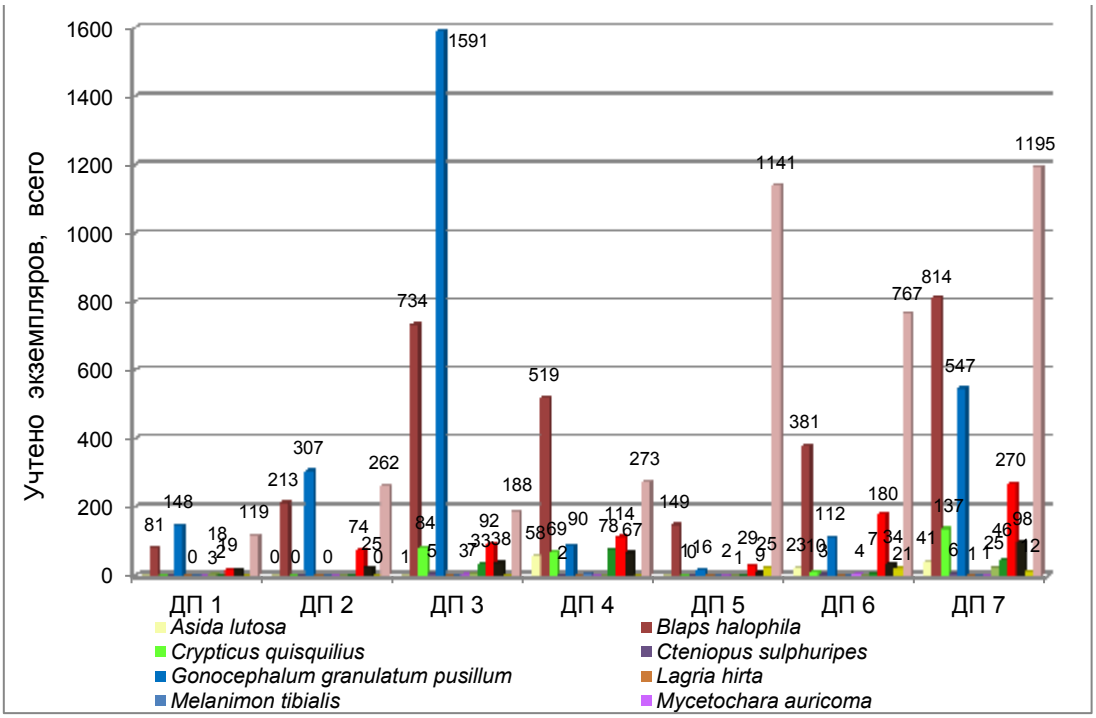


Рисунок 5 – Распределение видов чернотелок по элементам агроландшафта, экз. (2022-2025 гг.)
Figure 5 – Distribution of species of darkling beetles on elements of agricultural landscape, spec. (2022-2025)

Доминирующие в сообществе и широко распространенные в Евразии *O. sabulosum* (6,8 %), *G. granulatum pusillum* (24,6 %) и *B. halophila* (25,3 %) заселяют практически все элементы агроландшафта, встречаясь в высокой численности на полях с орошаемыми и неорошаемыми посевами, однако максимум их относительного обилия отмечается на залежи. Следует отметить, что полученные нами данные по биотопическому распределению *G. granulatum pusillum*, предпочитающего в агроландшафте, помимо залежи, мезофитное разнотравье в тальвеге балки, не соответствуют приведенным в литературе, где указывается его отсутствие в мезофильных биотопах на юге европейской части России [13]. Формирующий более трети суммарного обилия сообщества чернотелок восточноевропейско-казахстанский степной вид *T. nomas* (34,5 %) учитывался как в антропогенных, так и в естественных местообитаниях, в том числе наиболее ксерофитных.

Заключение. В результате четырехлетних учетов и наблюдений отмечено, что в локальном орошаемом агроландшафте чернотелки по относительному обилию особей занимают второе место после жужелиц в сообществе герпетобионтных жесткокрылых. Выявлены видовой состав и структура сообществ чернотелок, а также особенности распределения отдельных видов по его основным элементам. Установлено, что из 14 видов, формирующих сообщество, только пять – *P. femoralis*, *O. sabulosum*, *G. granulatum pusillum*, *B. halophila* и *T. nomas* заселяют орошаемые и неорошаемые поля. Остальные виды приурочены к естественным степным местообитаниям, лесополосе и тальвегу балки.

Важно отметить, что виды, указанные в литературе в качестве вредителей широкого спектра сельскохозяйственных культур, в первую очередь, такие как *G. granulatum pusillum*, *B. halophila* и *T. nomas*, в высокой численности отмечены на 1-3-х летней залежи. Имаго этих видов повреждают всходы, а личинки вредят подземным частям культурных растений. В связи с этим следует учитывать, что залежные земли в агроландшафте могут являться источником распространения вредителей на обрабатываемые поля и представляют серьезную угрозу его фитосанитарному состоянию.

Conclusions. As a result of four years of surveys and observations, it is shown that in the local irrigated agricultural landscape, darkling beetles rank second in relative abundance of individuals after ground beetles in the community of herpetobiont beetles. The species composition and structure of darkling beetles' communities, as well as the distribution of individual species according to its main elements, have been identified. Of the 14 species that form the community, only five have been found – *P. femoralis*, *O. sabulosum*, *G. granulatum pusillum*, *B. halophila*, and *T. nomas* – to populate irrigated and non-irrigated fields. The remaining species are confined to natural steppe habitats, forest belt and thalweg beam.

It is important to note that species indicated in the literature as pests of a wide range of crops, primarily such as *G. granulatum pusillum*, *B. halophila* and *T. nomas*, are noted in high numbers on 1-3-year deposits. Adults of these species damage seedlings and larvae harm the underground parts of cultivated plants. In this regard, it should be borne in mind that fallow lands in the agricultural landscape can be a source of pest spread to cultivated fields and pose a serious threat to its phytosanitary state.

Библиографический список

1. Мордкович В. Г., Худяев С. А., Дудко Р. Ю. и др. Зоодиагностика климатических изменений в степях Центрального Казахстана по сравнению с серединой XX в. на примере жуков-жужелиц и чернотелок. Сибирский экологический журнал. 2020. № 5. С. 539-567.
2. Мордкович В. Г., Худяев С. А., Дудко Р. Ю. и др. 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.
3. Дудко Р. Ю., Беспалов А. Н., Зиновьев Е. В. и др. Жуки-жужелицы (Coleoptera, Carabidae) Новосибирской области. Есть ли изменения в фауне в последние десятилетия? Евразиатский энтомологический журнал. 2018. Т. 17. № 4. С. 293-300.
4. Yang G.-J., Wang Y., Wang M. Spatial pattern dynamics of darkling beetle communities at small scale in the desert grassland of alluvial fans in helan mountain, Northwest China. Chinese Journal of Applied Ecology. 2021. V. 32. № 4. Pp. 1461-1470.
5. Комаров Е. В. Новые данные о фауне и распространении жесткокрылых насекомых (Coleoptera) в Нижнем Поволжье и на Среднем Дону. Кавказский энтомологический бюллетень. 2020. Т. 16. № 1. С. 35-38.
6. Набоженко М. В., Калашян М. Ю. Обзор жуков-чернотелок рода *Microdera* Eschscholtz, 1831 (Coleoptera, Tenebrionidae, Tentyriini) Кавказа и равнин европейской части России. Зоологический журнал. 2022. Т. 101. № 12. С. 1356-1371.
7. Набоженко М. В., Гадаборшева М. А. Материалы к познанию жуков-чернотелок (Coleoptera: Tenebrionidae) горной Ингушетии (Россия) и сравнение фаун тенебрионид семиаридных котловин Северного Кавказа. Кавказский энтомологический бюллетень. 2024. Т. 20. № 2. С. 333-342.
8. Комаров Е. В. К распространению, биотопическому распределению, фенологии и динамике численности жужелицы венгерской, *Carabus hungaricus* Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae), в Волгоградской области за последние 40 лет. Энтомологическое обозрение. 2022. Т. 101. № 2. С. 300-311.
9. 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.
10. Карпова Т. Л., Роменская О. Н., Семенова Е. С. Представители семейства жужелиц (Coleoptera, Carabidae) как компонент населения герпетобионтов пшеничного и хлопкового полей. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 116-125.
11. Mordkovich V. G., Dudko R. Ju., Khudyaev S. A. et al. Changes in the Ground Beetle and Darkling Beetle Communities (Coleoptera: Carabidae, Tenebrionidae) in the Mountain Hollows of the Tuva and Altai Republics over 60 Years: A Trend or a Fluctuation? Contemporary Problems of Ecology. 2022. V. 15. No. 6. Pp. 579-596.
12. Nabozhenko M. V., Bekchanov N. Kh., Egorov L. V. et al. First data on the darkling beetle fauna (Coleoptera: Tenebrionidae) of the Hissar State Reserve, Uzbekistan. Zoosystematica Rossica. 2024. Vol. 33. No. 2. Pp. 189-208.
13. Максимович К. Ю., Новиков Е. А. Таксономический состав и динамическая плотность напочвенных беспозвоночных агроценозов с разным уровнем интенсификации агротехнологий в лесостепи Юга Западной Сибири. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022. № 9. С. 28-35.
14. Egorov L. V., Dedyukhin S. V., Alekseev S. K. et al. Regional Coleoptera Fauna: Applying Different Methods to Study Species Diversity in a Single Region. Insects. 2024. V. 15. No. 12. Art. 917.

References

1. Mordkovich V. G., Khudyaev S. A., Dudko R. Yu., et al. Zoological diagnostics of climate change in the steppes of Central Kazakhstan compared to the mid-20th century using ground beetles and darkling beetles as an example. Siberian Journal of Ecology. 2020. No 5. Pp. 539-567.
2. Mordkovich V. G., Khudyaev S. A., Dudko R. Yu., et al. Changes in ground beetle and darkling beetle (Coleoptera: Carabidae, Tenebrionidae) communities in the mountain basins of Tuva and Altai over 60 years: trend or fluctuations? Siberian Journal of Ecology. 2022. No 6. Pp. 621-638.
3. Dudko R. Yu., Bespalov A. N., Zinoviev E. V. et al. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of the Novosibirsk Region. Are there any changes in the fauna in recent decades? Eurasian Entomological Journal. 2018. V. 17. No 4. Pp. 293-300.
4. Yang G.-J., Wang Y., Wang M. Spatial pattern dynamics of darkling beetle communities at small scale in the desert grassland of alluvial fans in Helan Mountain, Northwest China. Chinese Journal of Applied Ecology. 2021. V. 32. No 4. Pp. 1461-1470.

5. Komarov E. V. New data on the fauna and distribution of beetles (Coleoptera) in the Lower Volga and Middle Don regions. Caucasian Entomological Bulletin. 2020. Vol. 16. No 1. Pp. 35-38.

6. Nabozhenko M. V., Kalashyan M. Yu. Review of darkling beetles of the genus Microdera Eschscholtz, 1831 (Coleoptera, Tenebrionidae, Tentyriini) of the Caucasus and plains of the European part of Russia. Zoological journal. 2022. V. 101. No 12. Pp. 1356-1371.

7. Nabozhenko M. V., Gadaborsheva M. A. Materials for the knowledge of darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) of mountainous Ingushetia (Russia) and comparison of tenebrionid faunas of semiarid basins of the North Caucasus. Caucasian Entomological Bulletin. 2024. V. 20. No 2. Pp. 333-342.

8. Komarov E. V. On the distribution, biotopic distribution, phenology and population dynamics of the Hungarian ground beetle, Carabushungaricus Fabricius, 1792 (Coleoptera, Carabidae), in the Volgograd region over the past 40 years. Entomological Review. 2022. V. 101. No 2. Pp. 300-311.

9. Komarov E. V., Komarova O. P. Features of the distribution of the herpetobia entomofauna in an irrigated agricultural landscape based on the results of long-term monitoring. Irrigatedagriculture. 2024. No 4 (47). Pp. 28-33.

10. Karpova T. L., Romenskaya O. N., Semenova E. S. Representatives of the family Carabidae (Coleoptera, Carabidae) as a Component of the Herpetobiont Population of Wheat and Cotton Fields. Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 3 (81). Pp. 116-125.

11. Mordkovich V. G., Dudko R. Ju., Khudyaev S. A. et al. Changes in the Ground Beetle and Darkling Beetle Communities (Coleoptera: Carabidae, Tenebrionidae) in the Mountain Hollows of the Tuva and Altai Republics over 60 Years: A Trend or a Fluctuation? Contemporary Problems of Ecology. 2022. Vol. 15. No 6. Pp. 579-596.

12. Nabozhenko M. V., Bekchanov N. Kh., Egorov L. V. et al. First data on the darkling beetle fauna (Coleoptera: Tenebrionidae) of the Hissar State Reserve, Uzbekistan. Zoosystematica Rossica. 2024. V. 33. No 2. Pp. 189-208.

13. Maksimovich K. Yu., Novikov E. A. Taxonomic composition and dynamic density of ground invertebrates of agrocenoses with different levels of intensification of agricultural technologies in the forest-steppe of the south of Western Siberia. Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences. 2022. No 9. Pp. 28-35.

14. Egorov L. V., Dedyukhin S. V., Alekseev S. K. et al. Regional Coleoptera Fauna: Applying Different Methods to Study Species Diversity in a Single Region. Insects. 2024. V. 15. No 12. Art. 917.

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, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – the Branch of 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, All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – the Branch of VNIIGiM (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev str., 9), ORCID: 0000-0001-9129-6932, e-mail: komarova62@rambler.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-19

THE CORRELATION OF THE YIELD AND THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SPRING BARLEY GRAIN VARIETIES AND PROSPECTIVE LINES IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE VOLGA REGION

Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu., Ermilina N. N.

Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Povolzhsky Research Institute of Breeding and Seed Production named after P. N. Konstantinov
Kinel, Samara region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: laramart163@mail.ru

Received 13.10.2025 Submitted 01.03.2026

The article contains the results of the work obtained during the implementation of the program for the creation and development of a selection and seed production center in the field of agriculture for the creation and implementation of modern technologies in the agro-industrial complex based on the in-house developments of the Federal State Budgetary Scientific Institution Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences for 2025-2027 (clause 4.1.1 of the Schedule of Activities), carried out with the financial support of the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (agreement on the provision of grants from the federal budget in the form of subsidies No. 075-15-2025-174 dated April 23, 2025).

Abstract

Introduction. The development of highly productive, high-quality and stable varieties of grain crops has always been and will be the main task of breeding. The productivity of each variety is determined by its genotype, but the formation of its level as a whole and its individual elements is influenced by growing conditions. The aim of the research was to analyze the relationship between the physical and mechanical prop-

erties of grain of varieties and promising lines of spring barley and their yield. The object of the research was 12 genotypes of two-row hulled spring barley (Berkut, Povolzhsky 65, Povolzhsky 22, Povolzhsky 49, Batik, Povolzhsky Yantar, Povolzhsky Dar, Nart) and promising breeding lines (Submedikum 2338/01, 2352/03, 2352/06, 2352/12). Standard – variety Berkut. **Material and methods.** The research was conducted from 2022 to 2024 on experimental fields in the Kinelsky District of Samara Oblast. Meteorological conditions during the testing years were characterized by pronounced instability of the hydrothermal regime during the growing season. The 2022 growing season was characterized by moderate temperatures and relatively balanced moisture; the hydrothermal coefficient (HTC) was 0.74. In contrast, moisture deficits were observed in 2023 and 2024, characterized by a decrease in the HTC to 0.41, which corresponds to conditions of insufficient moisture. **Results and conclusions.** Based on the tests, the average productivity of the studied barley samples ranged from 2.80 to 3.25 t/ha. The minimum values were noted for the Povolzhskiy 65 variety, while the maximum indicator was recorded in the Submedikum 2352/06 breeding line. High yield parameters were closely associated with the development of the main elements of the grain structure and its physical properties. The best results were demonstrated by genotypes with a 1000-grain weight within 45.9-47.0 g (Povolzhskiy Yantar, Submedikum 2352/03, 2352/06, 2352/12) and a grain natural weight of 642-652 g/l (Povolzhskiy Yantar, Povolzhskiy 49, Submedikum 2352/03, 2352/06, 2352/12). The promising Submedikum lines (2352/03, 2352/06, 2352/12) also stood out for their technological qualities: grain yield from a 2.5 x 20 mm sieve was 43.5-46.0 %, and the total grain size reached 91.0-93.0 %. The selected genotypes are of high breeding significance and are recommended for inclusion in hybridization programs as sources of economically valuable traits.

Keywords: *spring barley, spring barley lines, spring barley cultivation conditions, spring barley yield, weight of 1,000 grains, grain weight, grain size.*

Citation. Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu., Ermilina N. N. The correlation of the yield and the physical and mechanical properties of spring barley grain varieties and prospective lines in the conditions of the Middle Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 169-180 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-19.
Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, implementation, and analysis of the results 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 633.16:631.524.02

ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ С ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ЗЕРНА СОРТОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕВОЛЖСКОГО РЕГИОНА

Косых Л. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
Никонорова Ю. Ю., *младший научный сотрудник*
Ермилина Н. Н., *младший научный сотрудник*

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова
п.г.т. Усть-Кинельский, г. Кинель, Самарская область, Российская Федерация

Статья содержит результаты работ, полученных при выполнении программы создания и развития селекционно-семеноводческого центра в области сельского хозяйства для создания и внедрения в АПК современных технологий на основе собственных разработок Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук на 2025-2027 гг. (п. 4.1.1 Плана-графика мероприятий), осуществляемой при финансовой поддержке Российской Федерацией в лице Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий №075-15-2025-174 от 23.04.2025 г.).

Актуальность. Создание высокопродуктивных, высококачественных и стабильных сортов зерновых культур всегда было и будет главной задачей селекции. Производительность каждого сорта определяется его генотипом, однако формирование его уровня в целом и отдельных элементов находится под влиянием условий выращивания. Цель исследований – анализ взаимосвязи физико-механических свойств зерна сортов и перспективных линий ярового ячменя с их урожайностью. **Объектом исследований** послужили 12 генотипов двурядного пленчатого ярового ячменя (Беркут, Поволжский 65, Поволжский 22, Поволжский 49, Батик, Поволжский янтарь, Поволжский дар, Нарт) и перспективные селекционные линии (Субмедикум 2338/01, 2352/03, 2352/06, 2352/12). Стандарт – сорт Беркут. Материал и методы. Научно-исследовательская работа выполнялась в период 2022-2024 гг. на опытных полях в Кинельском районе Самарской области. Метеорологические условия в годы проведения испытаний характеризовались выраженной нестабильностью гидротермического режима в период вегетации. Вегетационный период 2022 года отличался умеренным темпера-

турным фоном и относительной сбалансированностью увлажнения; показатель гидротермического коэффициента (ГТК) составил 0,74. Напротив, в 2023 и 2024 гг. наблюдался дефицит влаги, характеризующийся снижением ГТК до 0,41, что соответствует условиям недостаточного увлажнения. **Результаты и выводы.** На основании проведенных испытаний выявлено, что средний уровень продуктивности изученных образцов ячменя находился в диапазоне 2,80-3,25 т/га. Минимальные значения отмечены у сорта Поволжский 65, в то время как максимальный показатель зафиксирован у селекционной линии Субмедикум 2352/06. Высокие параметры урожайности были тесно сопряжены с развитием основных элементов структуры зерна и его физических свойств. Наилучшие результаты продемонстрировали генотипы, обладающие массой 1000 зерен в пределах 45,9-47,0 г (Поволжский янтарь, Субмедикум 2352/03, 2352/06, 2352/12) и натурой зерна 642-652 г/л (Поволжский янтарь, Поволжский 49, Субмедикум 2352/03, 2352/06, 2352/12). Перспективные линии Субмедикум (2352/03, 2352/06, 2352/12) также выделилась по технологическим качествам: сход зерна с сита 2,5 х 20 мм составил 43,5-46,0 %, а общая крупность достигла 91,0-93,0 %. Выделенные генотипы представляют высокую селекционную значимость и рекомендуются для включения в программы гибридизации в качестве источников хозяйственно ценных признаков.

Ключевые слова: *ячмень яровой, линии ярового ячменя, условия возделывания ярового ячменя, урожайность ярового ячменя, масса 1000 зерен, натурная масса зерна, крупность зерна.*

Цитирование. Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю., Ермилина Н. Н. Взаимосвязь урожайности с физико-механическими свойствами зерна сортов и перспективных линий ярового ячменя в условиях Средневолжского региона. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 169-180. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-19.
Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе результатов данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Ячмень (*Hordeum vulgare L.*) характеризуется как одна из доминирующих культур в структуре агропромышленного комплекса Российской Федерации. Согласно сведениям Федеральной службы государственной статистики, в 2025 году посевные площади ярового ячменя составили 6 004,8 тыс. га, что демонстрирует декремент показателя на 5,3 % относительно уровня 2024 года. Основной ареал возделывания культуры сосредоточен в ряде ключевых регионов, среди которых лидируют Оренбургская область (407,1 тыс. га; 6,8 % от общего объема), Омская область (345,6 тыс. га; 5,8 %), Республика Башкортостан (339,3 тыс. га; 5,7 %), Республика Татарстан (318,6 тыс. га; 5,3 %) и Воронежская область (280,4 тыс. га; 4,7 %). На долю Самарской области пришлось 203,9 тыс. га, что эквивалентно 3,4 % общероссийской площади посевов [1].

Ячмень классифицируется как универсальная культура с мультифункциональным потенциалом использования, охватывающим пищевую индустрию, кормопроизводство и техническую переработку. Зерно отличается высокой концентрацией полноценного белка и полисахаров (крахмала). В сравнении с другими колосовыми зерновыми, ячмень обладает более сбалансированным аминокислотным составом, характеризующимся повышенным содержанием эссенциальных аминокислот, в частности лизина и триптофана. Сравнительный анализ аминокислотного состава в расчете на 1 кг зерна выявил преимущество ячменя (4,4 г лизина) над пшеницей (3,9 г) и овсом (3,6 г).

Помимо фуражной ценности зерна, вегетативная масса (солома) ячменя превосходит аналогичные побочные продукты ржи по содержанию переваримого протеина почти в 3,5 раза, а также характеризуется более высокой энергетической ценностью (количеством кормовых единиц) относительно соломы озимой ржи, овса и пшеницы. Высокая питательная ценность и усвояемость зерна в дробленом и размолотом виде обуславливают его широкую востребованность в рационах различных групп сельскохозяйственных животных и птицы [2, 3, 4].

Культура ячменя обладает высокой значимостью в структуре продовольственного фонда. Продукты переработки его зерна включают муку, перловую и ячневую крупы, а также суррогатные кофейные напитки. Ввиду специфических физико-химических свойств ячменная мука характеризуется низкими хлебопекарными качествами, однако может использоваться в качестве рецептурного компонента в смеси с пшеничной или ржаной мукой в дозировке 20-25 %. Особую роль ячмень играет в пивоваренной индустрии; стратегическим сырьем для производства солода выступают двухрядные формы, отличающиеся крупностью, выравненностью зерна, минимальным содержанием цветковых чешуй и высокими показателями энергии прорастания [5].

В системе земледелия ячмень яровой рассматривается как ценный предшественник в полевых севооборотах благодаря высокому коэффициенту водопотребления при формировании сухого вещества и сокращенному вегетационному периоду, что способствует своевременному освобождению пашни. Данная культура также выполняет функцию резервного ресурса в случае необходимости пересева в выпадающих массивах озимых зерновых.

Анализ научной литературы показывает, что физико-механические свойства зерна ярового ячменя оказывают влияние на его технологические и биологические показатели, а также на урожайность. Исследования показали, что крупнозерные сорта ячменя имеют высокий выход ячневой крупы [6, 7].

По данным Шаболкиной Е. Н. и других исследователей (2023), наблюдается тесная обратная корреляция между пленчатостью зерна и его натурой, что подтверждается высоким значением корреляционного коэффициента (r = -0,94; -0,64; -0,84) [8].

В зоне Северного Зауралья исследование Фоминой и коллег (2022) показало наличие достоверной сильной связи между урожайностью зерна и показателем «масса 1000 зерен» (r = 0,83-0,95) [9]. В свою очередь, по данным Тарановой и др. (2021) была установлена средняя зависимость между урожайностью и массой 1000 зерен (r = 0,42) [10].

Наши исследования выявили среднюю корреляционную связь между высотой растений и урожайностью (r = 0,549), длиной вегетационного периода и урожайностью (r = 0,661), а также между массой 1000 зерен и урожайностью (r = 0,492) [11].

Цель исследований – анализ взаимосвязи физико-механических свойств зерна сортов и перспективных линий ярового ячменя с их урожайностью.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования выполнены в период 2022-2024 гг. на базе опытных полей Поволжского научно-исследовательского института селекции и семеноводства имени П.Н. Константинова – филиала ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра РАН (Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН). Географическая локация района исследований характеризуется расположением в Кинельском районе Самарской области. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом типичным малогумусным (содержание гумуса варьирует в пределах 5-6 %), среднемощным, легкоглинистым по гранулометрическому составу. Агрохимические показатели пахотного горизонта характеризуются следующими значениями: содержание подвижных форм фосфора составляет 61,4-77,0 мг/кг, обменного калия – 374,0-423,0 мг/кг, легкогидролизуемого азота – 28,5-49,4 мг/кг. Реакция почвенного раствора (pH) соответствует слабокислой среде и составляет 5,4.

Метеорологический режим в годы проведения полевых опытов отличался выраженной нестабильностью в течение вегетационного периода. Данная климатическая вариабельность позволила обеспечить объективность оценки селекционных образцов ярового ячменя по комплексу изучаемых хозяйственно-биологических признаков.

Метеорологические условия вегетационного периода 2022 года в целом характеризовались как удовлетворительные по гидротермическим показателям. Начальный этап вегетации протекал при пониженном температурном режиме относительно среднемноголетних данных, что, в сочетании с избыточным увлажнением (сумма осадков за май-июнь достигла 137,4 мм при норме 88,4 мм), обеспечило достаточные условия для морфогенеза растений. Оптимальное сочетание температуры и влагообеспеченности в послепосевной период способствовало формированию полных и выравненных всходов. В фазу налива зерна отмечалась гипертермия (превышение климатической нормы на 3-5 °С) на фоне выраженного дефицита атмосферных осадков (12,1 мм). Среднесезонная температура воздуха (май-август) составила 19,2 °С, что коррелирует со среднемноголетним значением (18,9 °С). Суммарное количество осадков за вегетацию составило 174,9 мм (96 % от нормы). Средневегетационный гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,74 с амплитудой колебаний по месяцам от 0,17 (июль) до 2,4 (май). Важно отметить, что прохождение критических фаз онтогенеза ячменя в 2022 году было обеспечено благоприятными лимитирующими факторами среды.

Первая половина вегетационного периода ярового ячменя в 2023 году характеризовалась выраженным дефицитом атмосферного увлажнения: сумма выпавших осадков составила 41,4 мм, что обеспечило лишь 46,8 % от среднемноголетней нормы. Термический режим в данный период отличался положительной аномалией: среднее значение среднесуточной температуры воздуха составило 19,2 °С, что превышает климатическую норму на

1,8 °С. Совокупность данных метеопараметров обусловила низкую влагообеспеченность посевов, при которой гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,36, что соответствует условиям слабого увлажнения и свидетельствует о засушливости начальных этапов онтогенеза культуры.

Среднее значение среднесуточных температур в период налива и созревания зерна ярового ячменя в 2023 году находилось на уровне среднемноголетних значений – 21,5 °С. За этот период выпало 65 мм осадков, что составило 61 % от всей суммы осадков, выпавших за период вегетации ярового ячменя в 2023 году. Соотношение суммы осадков и суммы температур за период колошение-созревание, выраженное в ГТК, составило 0,45. Это характеризует условия второй половины вегетации как условия недостаточного увлажнения.

В целом за вегетационный период ярового ячменя в 2023 году среднесуточная температура воздуха составила 21,2 °С, что на 2,3 °С выше среднемноголетних значений. Количество осадков за этот период составило 106,5 мм (из них 47,6 мм выпало в июле в период созревания ярового ячменя), среднемноголетнее количество осадков за этот же период составляет 181,8 мм. ГТК за период вегетации ярового ячменя в 2023 году находился на уровне 0,41, что соответствует условиям слабого увлажнения.

Вегетация ярового ячменя в 2024 году проходила в контрастных по температурному режиму и влагообеспеченности посевов условиях. Основная часть вегетации протекала в засушливых условиях, среднесуточная температура воздуха за вегетационный период составила 18,9 °С (среднемноголетнее значение – 18,9 °С), выпало 94,1 мм осадков (при норме – 181,8 мм). Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период составил 0,41, при многолетней величине коэффициента – 0,78.

Объектами исследований являлись 12 двурядных пленчатых сортов и перспективных линий ярового ячменя селекции Самарского федерального исследовательского центра РАН. Сорта: Беркут, Поволжский 65, Батик, Поволжский 22, Поволжский 49 и Поволжский янтарь включены в Государственный реестр селекционных достижений РФ; сорта Поволжский дар (заявка № 89301/7653123 с датой приоритета 16.08.2023) и Нарт (заявка № 89302/7653124 с датой приоритета 16.08.2023) проходят Государственное сортоиспытание; 4 перспективных линии (Субмедикум 2338/01, 2352/03, 2352/06 и 2352/12). Стандарт – сорт Беркут.

Полевые опыты проводились в условиях стационарного участка первого селекционного севооборота. В качестве предшествующей культуры в схеме ротации использовался чистый пар, что обеспечило выравненность агрохимического фона. Технология возделывания ярового ячменя соответствовала зональным рекомендациям и включала комплекс последовательных приемов основной и предпосевной обработки почвы: зяблевую вспашку в осенний период, ранневесеннее закрытие влаги путем двукратного боронования, а также предпосевную культивацию с последующим уплотнением почвенного горизонта кольчатыми катками. Посев производился в первой декаде мая, что соответствует оптимальному периоду для реализации биологического потенциала культуры в данном регионе. Посевная операция выполнялась селекционной сеялкой «Клен-1,5» с соблюдением нормы высева 4,5 млн всхожих семян на гектар. Уборку урожая проводили методом прямого комбайнирования селекционным комбайном Sampo-130. Учетная площадь делянок в конкурсном сортоиспытании составляла 27 м^2, при четырехкратной повторности опыта.

Закладку полевых опытов, фенологические наблюдения, соответствующие учеты и измерения выполняли в соответствии с регламентированными отраслевыми методиками: «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [12] и «Методикой полевого опыта» [13]. Физические свойства зерна устанавливали согласно действующим государственным стандартам: массу 1000 зерен – по ГОСТ 10842-89; натуру зерна – по ГОСТ 10840-2017. Фракционный состав и показатель крупности зерна ячменя определяли согласно ГОСТ 30483-97 по остатку на сите с размером ячеек 2,5 х 20 мм. Содержание мелких зерен оценивали по результатам прохода через сито и последующего выделения фракции со схода сита с отверстиями 2,2 х 20 мм.

Математическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа [13] с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel и «Statistica 10.0» [14].

Результаты и обсуждение. В среднем за годы исследований достоверно высокую массу 1000 зерен сформировали 2 сорта ярового ячменя: Поволжский янтарь и Поволжский 22, превысившие стандарт, сорт Беркут на 4,80 г и 3,03 г соответственно и перспек-

тивные линии Субмедикум 2352/03, 2352/06 и 2352/12, превышение над стандартом составило 3,97-5,19 г. Причем все выделившиеся сорта и линии характеризовались наиболее низкой вариабельностью по данному признаку (5,77-10,03 %), кроме линии Субмедикум 2352/12 (14,32 %) (таблица 1).

Таблица 1 – Структурные показатели зерна сортов и перспективных линий ярового ячменя (конкурсное сортоиспытание, 2022-2024 гг.)
Table 1 – Structural indicators of grain of varieties and promising lines of spring barley (competitive variety testing, 2022-2024)

Сорт / Variety	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средняя / Average	Коэффициент вариации (V %) / Coefficient of variation (V%)	$НСР_{05}$ / HSR_{05}
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g						
Беркут, st / Berkut, st	45,90	42,61	37,38	41,96	10,24	3,30
Поволжский 65 / Povolzhskiy 65	45,12	44,04	37,62	42,26	9,59	
Нарт / Nart	41,49	42,80	32,88	39,06	13,80	
Поволжский дар / Povolzhskiy dar	42,90	42,61	34,94	40,15	11,24	
Поволжский янтарь / Povolzhskiy yantar	50,52	48,25	41,50	46,76	10,03	
Поволжский 49 / Povolzhskiy 49	45,80	41,54	37,68	41,66	9,75	
Батик / Batik	43,20	42,82	39,82	41,95	4,41	
Поволжский 22 / Povolzhskiy 22	47,81	44,46	42,70	44,90	5,77	
Субмедикум 2338/01 / Submedicum 2338/01	47,46	46,67	34,72	42,95	16,62	
Субмедикум 2352/03 / Submedicum 2352/03	49,69	49,06	42,70	47,15	8,20	
Субмедикум 2352/06 / Submedicum 2352/06	50,68	44,36	42,75	45,93	9,13	
Субмедикум 2352/12 / Submedicum 2352/12	50,50	50,06	38,77	46,44	14,32	
Натура зерна, г/л / Grain nature, g/l						
Беркут, st / Berkut, st	668,00	682,00	604,60	651,40	6,33	33,49
Поволжский 65 / Povolzhskiy 65	709,70	701,50	623,50	678,20	7,01	
Нарт / Nart	673,50	631,75	553,75	619,70	9,81	
Поволжский дар / Povolzhskiy dar	682,70	628,00	566,50	625,70	9,29	
Поволжский янтарь / Povolzhskiy yantar	689,00	649,30	606,75	648,40	6,34	
Поволжский 49 / Povolzhskiy 49	688,00	674,50	580,25	647,60	9,06	
Батик / Batik	693,30	674,50	584,50	650,80	8,94	
Поволжский 22 / Povolzhskiy 22	686,70	673,00	605,50	655,10	6,64	
Субмедикум 2338/01 / Submedicum 2338/01	694,50	670,50	584,75	649,90	8,88	
Субмедикум 2352/03 / Submedicum 2352/03	661,50	680,30	583,75	641,80	7,97	
Субмедикум 2352/06 / Submedicum 2352/06	676,50	676,00	581,00	644,50	8,53	
Субмедикум 2352/12 / Submedicum 2352/12	677,00	674,00	581,75	644,30	8,40	

Среднесортовой показатель массы 1000 зерен у изучаемых сортов составил 43,44 ± 2,72 г. Максимальную урожайность сформировали перспективные линии (Субмедикум 2352/06, 2352/12, 2352/03) и сорт Поволжский янтарь с массой 1000 зерен 45,9-47,0 г (рисунок 1).

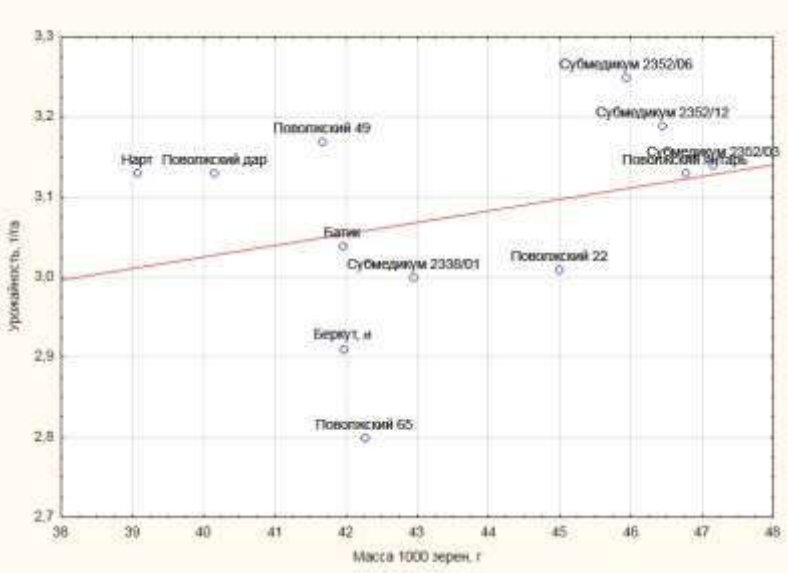


Рисунок 1 – Зависимость урожайности сортов ярового ячменя от массы 1000 зерен
Figure 1 – Dependence of the yield of spring barley varieties on the weight of 1000 grains

Показатель натура зерна, характеризуется главным образом выполненностью, плотностью и полновесностью зерна. Хорошо выполненное зерно отличается более высоким относительным содержанием самой ценной его части – эндосперма. Натура зерна формируется преимущественно под влиянием погодных условий, складывающихся в период вегетации растений, но отмечается и значительная роль генотипа [15].

Сорта ярового ячменя в среднем за 2022-2024 гг. характеризовались высокой натурой зерна (выше 630 г/л), что соответствует требованиям ГОСТ 28672-2019 для заготавливаемого ячменя 1 класса. Исключение составили сорта Нарт (619,7 г/л) и Поволжский дар (625,7 г/л). В среднем наибольшую натурную массу сформировал сорт Поволжский 65, превышение над стандартом составило 26,8 г/л, коэффициент вариации – 7,01 %.

Среднесортовой показатель натуры зерна у изучаемых сортов составил 646,45 ± 14,52 г/л. Максимальную урожайность сформировали сорта (Поволжский янтарь и Поволжский 49) и перспективные линии (Субмедикум 2352/03, 2352/06, 2352/12) с натурной массой зерна 642-650 г/л (рисунок 2).

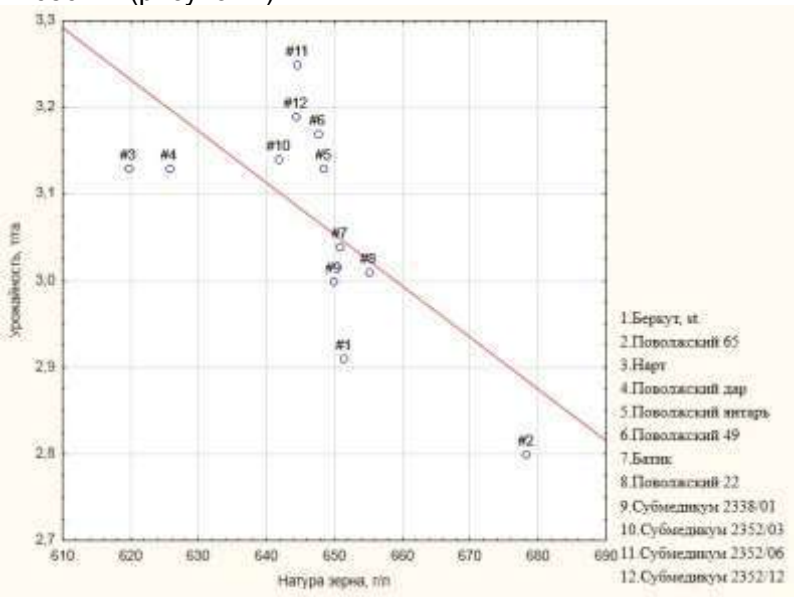


Рисунок 2 – Зависимость урожайности сортов ярового ячменя от натуры зерна
Figure 2 – Yield of spring barley varieties as a function of grain weight

Таблица 2 – Физико-механические свойства зерна сортов и перспективных линий ярового ячменя (конкурсное сортоиспытание, 2022-2024 гг.)
Table 2 – Physical and mechanical properties of grain of varieties and promising lines of spring barley (competitive variety testing, 2022-2024)

Сорт / Variety	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средняя / Average	Коэффициент вариации (V %) / Coefficient of variation (V%)	$НСР_{05}$ / HSR_{05}
Сход зерна с сита 2,5 х 20 мм, % / Grain yield from a 2.5 x 20 mm sieve, %						
Беркут, st / Berkut, st	40,15	40,16	22,19	34,17	30,36	11,46
Поволжский 65 / Povolzhskiy 65	39,15	40,28	28,68	36,04	17,75	
Нарт / Nart	19,30	18,74	5,76	14,60	52,47	
Поволжский дар / Povolzhskiy dar	17,95	12,95	4,44	11,78	57,98	
Поволжский янтарь / Povolzhskiy yantar	42,05	41,61	27,21	36,96	22,85	
Поволжский 49 / Povolzhskiy 49	43,05	43,32	26,55	37,64	25,52	
Батик / Batik	31,35	27,10	11,94	23,46	43,49	
Поволжский 22 / Povolzhskiy 22	41,20	39,53	31,78	37,50	13,40	
Субмедикум 2338/01 / Submedicum 2338/01	37,85	35,50	13,90	29,08	45,39	
Субмедикум 2352/03 / Submedicum 2352/03	46,70	47,20	40,18	44,69	8,76	
Субмедикум 2352/06 / Submedicum 2352/06	46,30	46,19	39,67	44,05	8,62	
Субмедикум 2352/12 / Submedicum 2352/12	45,00	47,03	38,57	43,53	10,15	
Сход зерна с сита 2,2 х 20 мм, % / Grain yield from a 2.2 x 20 mm sieve, %						
Беркут, st / Berkut, st	3,90	1,87	2,44	2,74	38,26	1,76
Поволжский 65 / Povolzhskiy 65	3,10	1,75	2,27	2,37	28,69	
Нарт / Nart	7,45	2,99	2,77	4,40	59,97	
Поволжский дар / Povolzhskiy dar	6,50	3,14	2,71	4,12	50,41	
Поволжский янтарь / Povolzhskiy yantar	2,75	1,56	3,43	2,58	36,69	
Поволжский 49 / Povolzhskiy 49	2,30	1,73	3,33	2,45	33,05	
Батик / Batik	4,65	2,61	3,17	3,48	30,32	
Поволжский 22 / Povolzhskiy 22	2,50	1,92	2,35	2,26	13,34	
Субмедикум 2338/01 / Submedicum 2338/01	3,50	2,27	1,94	2,57	31,99	
Субмедикум 2352/03 / Submedicum 2352/03	1,45	0,67	3,04	1,72	70,22	
Субмедикум 2352/06 / Submedicum 2352/06	1,60	0,76	2,58	1,65	55,32	
Субмедикум 2352/12 / Submedicum 2352/12	2,15	1,06	3,35	2,19	52,38	
Крупность зерна, % / Grain size, %						
Беркут, st / Berkut, st	88,55	83,90	49,32	73,93	28,99	12,95
Поволжский 65 / Povolzhskiy 65	84,85	84,10	61,47	76,81	17,30	
Нарт / Nart	53,85	43,45	17,31	38,20	49,28	
Поволжский дар / Povolzhskiy dar	49,30	32,25	14,31	31,95	54,76	
Поволжский янтарь / Povolzhskiy yantar	89,85	86,25	61,84	79,31	19,21	
Поволжский 49 / Povolzhskiy 49	91,70	90,00	60,94	80,88	21,38	
Батик / Batik	72,60	59,75	30,08	54,14	40,28	
Поволжский 22 / Povolzhskiy 22	87,40	82,85	74,26	81,50	8,19	
Субмедикум 2338/01 / Submedicum 2338/01	83,30	75,60	31,74	63,55	43,77	
Субмедикум 2352/03 / Submedicum 2352/03	97,20	95,60	86,88	93,23	5,96	
Субмедикум 2352/06 / Submedicum 2352/06	96,55	93,80	84,68	91,68	6,78	
Субмедикум 2352/12 / Submedicum 2352/12	94,70	96,21	84,18	91,70	7,15	

В среднем за годы исследований высоким сходом зерна с сита 2,5 х 20 мм характеризовались перспективные линии Субмедикум 2352/12, 2352/06 и 2352/03, превысившие сорт-стандарт Беркут на 9,36-10,52 %. Данные линии обладали низкой вариабельностью по данному признаку (8,62-10,15 %). Низкий процент схода зерна был отмечен у сортов Поволжский дар и Нарт, на 19,57-22,39 % ниже стандарта, коэффициент вариабельности у данных сортов очень высокий 57,98 % и 52,47 % соответственно. Также у данных сортов отмечен высокий процент схода зерна с сита 2,2 х 20 мм, на 1,38-1,66 % выше стандарта Беркут. Коэффициент вариации составил 50,41 % и 59,97 % соответственно (таблица 2).

Крупность зерна показывает семенную и продовольственную значимость сорта. Определяет запас питательных веществ, всхожесть, пищевые и кормовые достоинства сорта [16]. И в тоже время она ограничена сортовыми особенностями растения, продолжительностью его развития, то есть сортовой спецификой в сочетании с условиями среды. Недостаток продуктивной влаги и повышение температуры в период налива зерна приводят к значительному снижению крупности зерна [17].

В наших исследованиях перспективные линии ярового ячменя Субмедикум 2352/03, 2352/06 и 2352/12 сформировали крупность зерна более 85 %, что соответствовало требованию ГОСТ 5060-2021. «Ячмень пивоваренный. Технические условия» для ячменя 1 класса, предназначенного для солодоращения (таблица 1). Коэффициент вариации у данных сортов был очень низкий и составил 5,96-7,15 %. Низкий процент крупности отмечался у сортов Поволжский дар и Нарт, что на 35,72-41,97 % ниже сорта-стандарта. У данных сортов был отмечен и самый высокий коэффициент вариации – 54,76 % и 49,28 % соответственно.

Среднесортовой показатель крупности зерна у изучаемых сортов ярового ячменя составил 71,41 ± 20,47 %. Наибольшую урожайность сформировали перспективные линии (Субмедикум 2352/03, 2352/06, 2352/12) с крупностью зерна 91-93 % (рисунок 3).

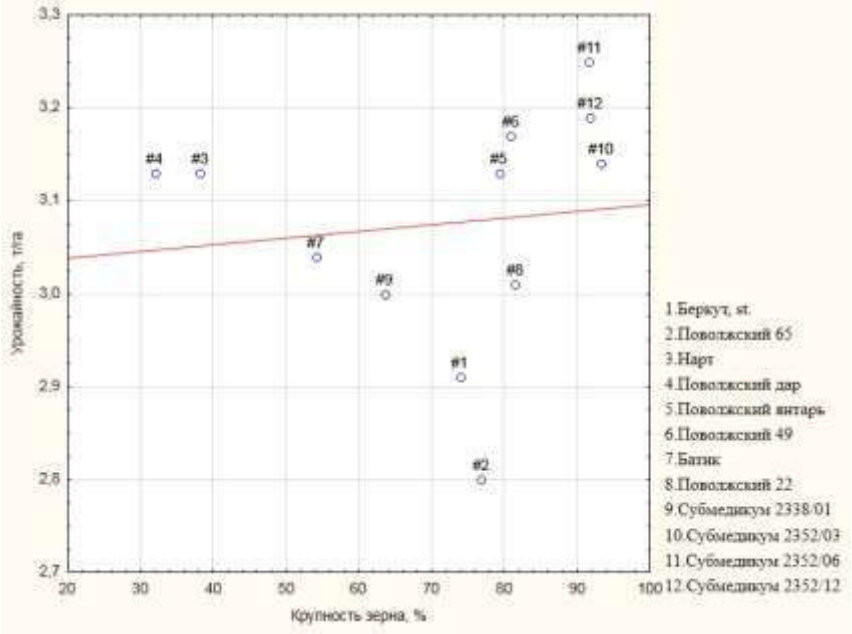


Рисунок 3 – Зависимость урожайности зерна сортов ярового ячменя от крупности зерна
Figure 3 – Grain yield of spring barley varieties as a function of grain size

Средняя урожайность в годы проведения исследований варьировала от 2,80 т/га (сорт Поволжский 65) до 3,25 т/га (линия Субмедикум 2352/06). Коэффициент вариации у всех изучаемых сортов был очень высокий и составил (32,42-47,03 %) (таблица 3). Только линия Субмедикум 2352/06 достоверно превысила стандарт на 0,34 т/га.

Анализируя полученные данные видно, что самым благоприятным годом для ярового ячменя был 2023 год, где выделились перспективные линии Субмедикум 2352/06 и 2352/12, превысившие стандарт сорт Беркут на 0,38-0,51 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность зерна сортов ярового ячменя, т/га
Table 3 – Grain yield of spring barley varieties, t/ha

Сорт / Variety	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Средняя / Average	V % / V%
Беркут, st / Berkut, st	2,87	4,28	1,57	2,91	46,63
Поволжский 65 / Povolzhskiy 65	2,88	3,76	1,76	2,80	35,80
Нарт / Nart	3,13	4,20	2,07	3,13	33,99
Поволжский дар / Povolzhskiy dar	3,26	4,08	2,06	3,13	32,42
Поволжский янтарь / Povolzhskiy yantar	3,07	4,18	2,13	3,13	32,82
Поволжский 49 / Povolzhskiy 49	3,06	4,55	1,91	3,17	41,71
Батик / Batik	3,09	4,16	1,87	3,04	37,69
Поволжский 22 / Povolzhskiy 22	3,15	4,17	1,70	3,01	41,28
Субмедикум 2338/01 / Submedicum 2338/01	3,01	4,11	1,88	3,00	37,17
Субмедикум 2352/03 / Submedicum 2352/03	3,20	4,54	1,68	3,14	45,57
Субмедикум 2352/06 / Submedicum 2352/06	3,24	4,79	1,73	3,25	47,03
Субмедикум 2352/12 / Submedicum 2352/12	3,09	4,66	1,83	3,19	44,40
$НСР_{05}$ / HSR_{05}	0,32	0,35	0,11	0,34	

Результаты проведенного корреляционного анализа свидетельствуют о наличии статистически значимых взаимосвязей между изученными признаками. Установлена выраженная положительная сопряженность массы 1000 зерен со сходом зерна с сита размером 2,5 х 20 мм (r = 0,836 ± 0,17) и общей крупностью зерна (r = 0,835 ± 0,17). Одновременно с этим выявлена достоверная отрицательная корреляция данного параметра с долей фракции, полученной при просеивании через решето 2,2 х 20 мм (r = -0,822 ± 0,18). Урожайность зерна характеризуется обратной зависимостью средней силы по отношению к его натуре (r = -0,676 ± 0,23). Наиболее тесная прямая связь отмечена между крупностью зерна и показателем схода зерна с сита 2,5 х 20 мм (r = 0,999 ± 0,01), и обратная зависимость с выходом фракции 2,2 х 20 мм (r = -0,962 ± 0,09).

Заключение. На основании проведенных исследований установлено, что в период 2022-2024 гг. средняя урожайность ярового ячменя варьировала в диапазоне от 2,8 т/га (сорт Поволжский 65) до 3,25 т/га (линия Субмедикум 2352/06) при среднем значении по выборке 3,08 ± 0,13 т/га. Максимальная продуктивность отмечена у сортообразцов и перспективных линий, характеризующихся массой 1000 зерен на уровне 45,9-47,0 г (Поволжский янтарь, Субмедикум 2352/03, 2352/06, 2352/12); натурой зерна 642-652 г/л (Поволжский янтарь, Поволжский 49, Субмедикум 2352/03, 2352/06, 2352/12); сходом зерна с сита 2,5 х 20 мм в пределах 43,5-46,0 % и крупностью зерна 91,0-93,0 % (Субмедикум 2352/03, 2352/06, 2352/12). Выделенные генотипы представляют высокую селекционную значимость и рекомендуются для включения в программы гибридизации в качестве источников хозяйственно ценных признаков.

Conclusion. Based on the conducted research, it was found that during the period of 2022-2024, the average yield of spring barley ranged from 2.8 t/ha (variety Povolzhsky 65) to 3.25 t/ha (line Submedikum 2352/06), with an average value of 3.08 ± 0.13 t/ha. The maximum productivity was noted in varietal samples and promising lines characterized by a mass of 1000 grains at the level of 45.9-47.0 g (Volga amber, Submedicum 2352/03, 2352/06, 2352/12); grain size 642-652 g/l (Volga amber, Volga 49, Submedicum 2352/03, 2352/06, 2352/12); grain discharge from a sieve 2.5 x 20 mm in the range of 43.5-46.0 % and grain size 91.0-93.0 % (Submedicum 2352/03, 2352/06, 2352/12). The selected genotypes are of high breeding value and are recommended for inclusion in hybridization programs as sources of economically valuable traits.

Библиографический список

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. https://rosstat.gov.ru/search
2. Брагин Р. Н., Филиппов Е. Г. Оценка показателей адаптивности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях изменчивости природной среды. Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 3. С. 18-24.
3. Сумина А. В., Полонский В. И. Содержание ценных веществ в зерне ячменя, выращенного в контрастных климатических условиях. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 1. С. 23-31.
4. Hakala K., Jauhiainer L., Rajala Ari A. Jalli M., Kujala M., Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. Fild Crops Research. 2020. V. 259.

5. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 3. С. 343-352.

6. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Левакова О. В., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахина В. В. Оценка качественных показателей зерна сортов и линий ярового ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20. № 2. С. 126-133.

7. Блохин В. И., Никифорова И. Ю., Ганиева И. С., Ланочкина М. А., Малафеева Ю. В., Дюрбин Д. С. Физико-механические свойства зерна сортов ярового ячменя в условиях Татарстана. Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 1. С. 19-25.

8. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Анисимкина Н. В. Оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя в условиях Среднего Поволжья. Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 1. С. 23-28.

9. Фомина М. Н., Иванова Ю. С., Пай О. А., Брагин Н. А., Белоусов С. А. Новый сорт ярового ячменя Кудесник. Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 11. С. 37-42.

10. Таранова Т. Ю., Кинчаров А. И, Демина Е. А., Муллаянова О. С., Чекмасова К. Ю. Селекционная оценка исходного материала яровой пшеницы по продуктивности и её элементам. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2021. № 5. С. 81-88.

11. Косых Л. А., Столпивская Е. В., Никонорова Ю. Ю. Влияние погодных условий на хозяйственно ценные признаки сортов ячменя ярового в лесостепной зоне Среднего Поволжья. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2022. № 1. С. 31-38.

12. Зайцева И. Ю., Щенникова И. Н., Лисицын Е. М. Исходный материал для селекции сортов ярового ячменя с высоким качеством зерна. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185. № 2. С. 82-94.

13. Морозов Н. А., Самсонов И. В., Панкратова Н. А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» к засушливым условиям Ставропольского края. Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 4. С. 16-21.

14. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку «масса 1000 зерен». Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 3. С. 56-63.

15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. М., 2019. 329 с.

16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 381 с.

17. Усманов Р. Р. Статистическая обработка данных агрономических исследований в программе «Statistica». М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2020. 177 с.

References

1. Official website of the Federal State Statistics Service. https://rosstat.gov.ru/search

2. Bragin R. N., Filippov E. G. Assessment of the adaptability of spring barley varieties based on their yield in a variable natural environment. Grain Economy of Russia. 2022. V. 14. No 3. Pp. 18-24.

3. Sumina A. V., Polonsky V. I. The content of valuable substances in barley grain grown in contrasting climatic conditions. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2020. V. 50. No. 1. Pp. 23-31.

4. Hakala K., Jauhiainer L., Rajala Ari A. Jalli M., Kujala M., Laine A. Different re-sponses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. Fild Crops Research. 2020. V. 259.

5. Polonsky V. I., Loskutov I. G., and Sumina A. V. Selection for Antioxidant Content in Grain as a Promising Direction for Obtaining Healthy Food Products. Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding. 2018. Vol. 22. No 3. Pp. 343-352.

6. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Levakova O. V., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V. Evaluation of grain quality indicators of spring barley varieties and lines. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2019. Vol. 20. No 2. Pp. 126-133.

7. Blokhin V. I., Nikiforova I. Yu., Ganieva I. S., Lanochkina M. A., Malafeeva Yu. V., Dyurbin D. S. Physical and Mechanical Properties of Grain of Spring Barley Varieties in the Conditions of Tatarstan. Grain Economy of Russia. 2024. Vol. 16. No 1. Pp. 19-25.

8. Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Anisimkina N. V. Evaluation of biochemical and technological indicators of grain of varieties of hulled and naked barley in the conditions of the Middle Volga region. Grain Economy of Russia. 2023. V. 15. No 1. Pp. 23-28.

9. Fomina M. N., Ivanova Yu. S., Pay O. A., Bragin N. A., Belousov S. A. The New Variety of Spring Barley Kudesnik. Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex. 2022. V. 36. No 11. Pp. 37-42.

10. Taranova T. Yu., Kincharov A. I., Demina E. A., Mullayanova O. S., Chekmasova K. Yu. Selection Evaluation of Spring Wheat Source Material by Productivity and Its Elements. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2021. No 5. Pp. 81-88.

11. Kosykh L. A., Stolpivskaya E. V., Nikonorova Yu. Yu. Influence of weather conditions on economically valuable traits of spring barley varieties in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2022. No 1. Pp. 31-38.

12. Zaitseva I. Yu., Shchennikova I. N., Lisitsyn E. M. The source material for breeding varieties of spring barley with high grain quality. Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2024. V. 185. No 2. Pp. 82-94.

13. Morozov N. A., Samsonov I. V., Pankratova N. A. Assessment of the adaptability of spring barley by the trait “mass of 1000 grains” to the arid conditions of the Stavropol Territory. Grain Economy of Russia. 2022. V. 14. No 4. Pp. 16-21.

14. Anisikov N. I., Safonova I. V. Comparative assessment of the plasticity, stability, and homeostaticity of VIR-bred winter rye varieties based on the "mass of 1,000 grains" trait. Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding. 2020. Vol. 181. No 3. Pp. 56-63.

15. Methodology for State Variety Testing of Agricultural Crops. Issue one. General part. M., 2019. 329 p.

16. Dospekhov B. A. Methods of Field Experiment. M.: Kolos, 1985. 381 p.

17. Usmanov R. R. Statistical Processing of Agronomic Research Data in the Statistica Program. M.: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev, 2020. 177 p.

Информация об авторах

Косых Лариса Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Поволжский НИИСС-филиал СамНЦ РАН) (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), e-mail: laramart163@mail.ru

Никонорова Юлия Юрьевна, младший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Поволжский НИИСС-филиал СамНЦ РАН) (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), e-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

Ермилина Наталья Николаевна, младший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства имени П. Н. Константинова – филиал Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Поволжский НИИСС-филиал СамНЦ РАН) (Российская Федерация, 446442, Самарская обл., г. Кинель, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76), e-mail: Ermilinamilana@gmail.com

Authors' information

Kosykh Larisa Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Povolzhsky Research Institute of Breeding and Seed Production named after P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky Urban Settlement, Shosseynaya St., 76), e-mail: laramart163@mail.ru

Nikonorova Yulia Yuryevna, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Povolzhsky Research Institute of Breeding and Seed Production named after P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky Urban Settlement, Shosseynaya St., 76), e-mail: yuliya_zinkova12@mail.ru

Ermilina Natalya Nikolaevna, Junior Researcher, Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Povolzhsky Research Institute of Breeding and Seed Production named after P. N. Konstantinov (Russian Federation, 446442, Samara Region, Kinel, Ust-Kinelsky Urban Settlement, Shosseynaya St., 76), e-mail: Ermilinamilana@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-20

THE ECOLOGICAL STATE OF THE VOLGA-AKHUTUBA FLOODPLAIN SELECTED WATER BODIES

Mezhevova A. S., Ryabukha A. F

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

Corresponding author E-mail: ryabuha-af@vfanc.ru

Received 17.03.2026 Submitted 05.05.2026

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

Abstract

Introduction. The surface waters of the land are the most strongly affected by geochemical, biological and anthropogenic influences of all the components of nature. The preservation of the ecosystem of the unique natural complex of the Volga-Akhtuba floodplain is closely related to the rehabilitation of its watercourses and reservoirs, based on the study of the chemical composition of water and sediments. **Materials and methods.** Lakes and lake systems of the Volga-Akhtuba floodplain – Lake. Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka lake, Chaika lake. Sampling of water and sediments from lakes Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka and Yerika Chaika was carried out in July 2025. Hydro-chemical analysis of natural waters, chemical analysis of sediments was carried out in accordance with current regulatory documents. **Results and conclusions.** In the lakes, the maximum permissible concentration of strontium ions was exceeded by 1.18 times in the water samples of Lake Kletskoye and by 1.13 times in the water samples of Lake Kletskoye. Bolshaya Kulyazhka, the permanganate oxidation value was exceeded in the water samples of all objects, amounting to 1.3 MPC for Lake Kletskoye, 1.48 MPC for Lake Bolshaya Kulyazhka, and 2.41 MPC for the Chaika River, which indicates the contamination of water bodies with easily oxidizable organic and inorganic substances. Additionally, a significant amount of sulfates was found in the water and bottom sediment samples (in the water samples from Lake Bolshaya Kulyazhka. Kletskoye and Bolshaya Kulyazhka are 0.82-0.92 MPC). The main environmental problems of these reservoirs are low water content, excess of the maximum permissible concentration of toxic strontium ion in water samples, and high levels of sulfates and easily oxidizing substances in the water and sediments, which can pose a threat to aquatic organisms due to the appearance of large amounts of hydrogen sulfide in the water. To improve the condition of these water bodies, it is necessary to monitor water quality and continue environmental rehabilitation by solving the problem of bottom sediment disposal.

Keywords: *water bodies, the Volga-Akhtuba floodplain, bottom sediments, ecological rehabilitation of water bodies, water quality monitoring.*

Citation. Mezhevova A. S., Ryabukha A. F. The ecological state of the Volga-Akhutuba floodplain selected water bodies. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 180-190 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-20.
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 502.51+556.5

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ

Межевова А. С., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Рябуха А. Ф., *кандидат фармацевтических наук*

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

Исследование выполнено 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. Поверхностные воды суши наиболее сильно из всех компонентов природы подвержены изменениям в результате геохимических, биологических и антропогенных воздействий. Сохранение экосистемы уникального природного комплекса Волго-Ахтубинской поймы тесно связано с реабилитацией ее водотоков и водоемов, основанной на изучении химического состава воды и донных отложений. **Объект исследования.** Ерики и озерные системы Волго-Ахтубинской поймы – оз. Клетское, оз. Большая Куляжка, ерик Чайка. **Материалы и методы.** Отбор проб воды и донных отложений из озер Клетское, Большая Куляжка и ерика Чайка проводили в июле 2025 г. Гидрохимический анализ природных вод и химический анализ донных отложений проводили согласно действующим нормативным документам. **Результаты и выводы.** В озерах наблюдалось превышение ПДК ионов стронция: 1,18 ПДК в пробах воды оз. Клетское, 1,13 ПДК в пробах воды оз. Большая Куляжка; значение перманганатной окисляемости было превышено в пробах воды всех объектов, составляя 1,3 ПДК для озера Клетское, 1,48 ПДК для озера Большая Куляжка, 2,41 ПДК для ерика Чайка, что свидетельствует о загрязнении водоемов легкоокисляющимися органическими и неорганическими веществами. Также в пробах воды и донных отложений обнаружено значительное количество сульфатов (в пробах воды из оз. Клетское и Большая Куляжка – 0,82-0,92 ПДК). Основными экологическими проблемами данных водоемов являются маловодность, превышение в пробах воды ПДК токсичного иона стронция и высокое содержание в воде и в донных отложениях сульфатов и легкоокисляющихся веществ, что может представлять угрозу для водных организмов вследствие появления в воде большого количества сероводорода. Для улучшения состояния данных водоемов необходимо проведение мониторинга качества воды, а также продолжение экологической реабилитации с решением проблемы утилизации донных отложений.

Ключевые слова: *водные объекты, Волго-Ахтубинская пойма, донные отложения, экологическая реабилитация водоемов, мониторинг качества воды.*

Цитирование. Межевова А. С., Рябуха А. Ф. Экологическое состояние отдельных водных объектов Волго-Ахтубинской поймы. *Известия НВ АУК.* 2026. 3(87). 180-190. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-20.
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. Поверхностные и подземные воды являются одними из наиболее важных природных ресурсов Российской Федерации. В то же время поверхностные воды суши наиболее сильно из всех компонентов природы подвержены изменениям в результате геохимических, биологических и антропогенных воздействий. В условиях аридного климата негативные изменения могут усиливаться вследствие засух и малоснежных зим [1, 2].

В настоящее время остро стоит вопрос сохранения экосистемы Волго-Ахтубинской поймы – уникального природного парка Волгоградской области, расположенного между рукавом реки Ахтубы и рекой Волгой и включающего в себя разнообразные аридные ландшафтные комплексы. Основным системообразующим фактором биогеоценозов Волго-Ахтубинской поймы является гидрологический режим ее водотоков и водоемов [3]. На систему озер и ериков Волго-Ахтубинской поймы воздействует комплекс негативных природ-

ных и антропогенных факторов, создающих серьезную угрозу, важнейшими из которых являются зарегулированность стока реки Волга, изменение климата и хозяйственная деятельность человека. В последние годы в Нижнем Поволжье наблюдается значительное повышение среднегодовой температуры, оказывающее влияние на состояние водных объектов. Загрязнение и пересыхание водных объектов негативно отражается на всей экосистеме поймы, влияя, в том числе, на видовое разнообразие флоры и фауны [4].

Озера, в которых в отличие от рек сток замедлен или отсутствует, аккумулируют значительное количество ионов, этот процесс усиливается в засушливом климате из-за испарения. Качество воды тесно взаимосвязано с донными отложениями, которые представляют собой минеральные и органические частицы, накапливающиеся на дне и подводных склонах водоемов. Донные отложения рек и озер в отсутствие антропогенного воздействия формируются под влиянием физических, химических и биологических факторов, характерных для данного региона, таких как рельеф, климат, процессы выветривания горных пород и почв, геохимические особенности горных пород, pH воды, адсорбции на минеральных и органических частицах и т. д. [5-7]. При наличии вблизи водных объектов промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий, а также в условиях сброса малоочищенных бытовых стоков донные отложения накапливают различные вещества, концентрации которых могут превышать содержание соответствующих веществ в воде и являться причиной вторичного загрязнения водных объектов [8-10, 11-14].

В рамках федеральных проектов «Оздоровление Волги» и «Сохранение уникальных водных объектов» национального проекта «Экология» на территории Волгоградской области проводится экологическая реабилитация водных объектов и пойменных территорий.

С целью сохранения водных объектов Волго-Ахтубинской поймы, имеющих особый статус природоохранной значимости, и улучшения их состояния необходимо проведение экологического мониторинга при рационализации использования их водных ресурсов. Изучение химического состава донных отложений и определение факторов, оказывающих наиболее значительное воздействие на качество воды в данном водоеме, позволит более точно оценивать состояние водных ресурсов и давать соответствующие практические рекомендации.

Научная новизна проведенного гидрохимического анализа воды и химического анализа донных отложений озера Клетское, озера Большая Куляжка и ерика Чайка заключается в выборе объектов исследования (ранее для данных объектов подобные исследования не проводились) и необходимости оценки эффективности мероприятий по расчистке и экологической реабилитации водных объектов.

Целью исследования являлось установление основных загрязняющих веществ озера Клетского, озера Большая Куляжка и ерика Чайка в системе «вода-донные отложения».

Материалы и методы. Объектом исследований являются ерики и озерные системы Волго-Ахтубинской поймы – оз. Клетское, оз. Большая Куляжка, ерик Чайка.

В 2017 г. в рамках национального проекта «Экология» в озерной системе Чайка реализованы природоохранные мероприятия, включающие расчистку и реабилитацию водных объектов, а также строительство и реконструкцию водопропускных сооружений, была проведена расчистка ерика Чайка (к тому времени практически пересохшего) и углубление русла на 1,5-2 м [15]. Ерик Чайка (координаты 48.661272, 44.706591), питание которого осуществляется от реки Ахтубы, является важным элементом экосистемы Волго-Ахтубинской поймы, оказывает большое влияние на качество жизни местных жителей, имеет большое значение для хозяйственной деятельности. Вблизи этого водного объекта расположены поселок Великий Октябрь, садовое общество, а также фермерские хозяйства. В данный момент ерик Чайка является тупиковым, однако на основе ретроспективного анализа космических снимков в его тупиковой части установлено пересохшее озеро, площадью около 12 га, которое предложено восстановить путем строительства регулируемого водопропускного сооружения [16].

Берега ерика крутые, глубина в точках взятия проб 1-1,5 м. При проведении органолептического анализа установлено, что вода в ерике зеленоватого цвета, мутная, непрозрачная.

Озеро Большая Куляжка (координаты 48.608156, 44.723902) находится на территории Клетского сельского поселения, Среднеахтубинского района Волгоградской области, рядом расположен коттеджный поселок Царицыно. Озеро не проточное, форма округлая, длина береговой линии – 1,67 км. Площадь – около 3 га. Глубина озера до 1-1,5 метров. При визуальном исследовании водоема отмечено большое количество погруженно-водной

растительности, прикрепленной к грунту – роголистник, уруть, рдест и др. При проведении органолептического анализа установлено, что вода мутная, не прозрачная, сквозь толщу дно не просматривается, дно водоема покрыто жидким слоем ила.

Озеро Клетское (координаты 48.596038, 44.692156) является расширенной частью ерика с пологими склонами, находится на территории Клетского сельского поселения Среднеахтубинского района Волгоградской области. Длина береговой линии составляет 5,49 км, ширина 100-180 м, глубина – от 1,5 до 3 метров. Питание – в половодье от реки Волги, после прохождения половодья озеро отчленяется от питающих ериков. Озеро используется жителями поселка и дачниками (более 4,6 тыс жителей) для хозяйственных целей, также наполненность водоема влияет на уровень воды в скважинах, поставляющих питьевую воду. При визуальном осмотре водоема зафиксировано сравнительно небольшое количество водной растительности, что, возможно, связано с проточностью водоема в сравнении с Большой Куляжкой. При проведении органолептического анализа установлено, что вода мутная, но дно просматривается. Озеро подвержено антропогенной нагрузке, в ряде мест видны трубы с возможным поступлением в озеро бытовых сточных вод.

Отбор проб воды и донных отложений из озер Клетское, Большая Куляжка и ерика Чайка проводили в июле 2025 г. Пробы воды были отобраны с лодки с глубины 10-30 см от поверхности и придонного слоя в полиэтиленовые емкости согласно ГОСТ Р 59024-2020 и ГОСТ 17.1.5.04-81. Донные отложения были отобраны дночерпателем в полиэтиленовые емкости в тех же точках, что и пробы воды согласно РД 52.24.609-2013.

Общую минерализацию проб воды определяли согласно ФР.1.31.2010.07463, pH на pH-метре «Эксперт-001» согласно ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97.

Гидрокарбонаты и общую жесткость проб определяли согласно ПНД Ф 14.1:2:3.98-97. Количественный химический анализ проб воды проводили на системе капиллярного электрофореза Капель-105М согласно методикам ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18, и ПНД Ф 14.1:2:4.167-2000.

Перманганатную окисляемость определяли согласно ПНД Ф 14.1:2:4.154-99.

Взвешенные вещества определяли согласно ФР.1.31.2014.19122, мутность ПНД Ф 14.1:2:3:4.213-05.

Количественный химический анализ (определение массовой доли водорастворимых форм катионов и анионов) проб донных отложений проводили на системе капиллярного электрофореза Капель-105М по методикам ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.74-2012 и ПНД Ф 16.1:2:2.3:2.2.69-10.

Агрохимические показатели в пробах донных отложений определяли согласно следующим методикам: pH солевой вытяжки по ГОСТ 26423-85; на спектрофотометре ПЭ-5400УФ определяли органическое вещество согласно ГОСТ 26213-2021, азот общий согласно ГОСТ 96-2019, фосфор общий согласно ПНД Ф 16.2:2.3.73-2012, калий общий согласно ГОСТ 26718-85. Гранулометрический анализ частиц в пробах донных отложений определяли на лазерном анализаторе микрочастиц Ласка-ТД.

Результаты и обсуждение. В пробах воды и донных отложений озер и ериков были определены физические и химические показатели, приведенные в таблицах 1, 3.

Для определения качества вод использованы ПДК для рыбохозяйственных водоемов, указанные в приказе Минсельхоза России № 552 от 13.12.2016. Однако ПДК не отражает в полной мере экологическое состояние водоема, так как не учитывает природные условия водного объекта, такие как pH, степень эвтрофирования водоема и др.

Все три изученных водоема загрязнены комплексом веществ, эвтрофируются, происходит изменение основных физико-химических показателей: мутности, pH, солевого состава.

При развитии процесса эвтрофирования увеличивается содержание в воде фитопланктона, происходит зарастание водоема макрофитами, возрастает мутность воды, повышается содержание взвешенных частиц, что ухудшает качество воды в целом и влияет на состояние экосистемы (что и наблюдалось при визуальном осмотре водоемов Большая Куляжка, ерика Чайка, и, в меньшей степени, озера Клетское). Результатом процесса эвтрофирования являются изменения в окислительно-восстановительных условиях среды – увеличение значения pH, наиболее сильно выраженное в пробах воды из озера Большая Куляжка и ерика Чайка. В данных условиях увеличивается содержание в воде легкоокисляющихся органических веществ, о чем свидетельствует показатель перманганатной окисляемости, превышающий ПДК в 2,41 раза в пробах из ерика Чайка, в 1,48 раз в пробах из оз. Большая Куляжка и в 1,3 раза в пробах из оз Клетское.

Таблица 1 – Физические и химические показатели проб воды из озер Клетское, Большая Куляжка и ерика Чайка
Table 1 – Physical and chemical parameters of water samples from lakes Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka and erika Chaika

Показатель / Indicator	ПДК* / MPC*	Клетское / Kletskoe		Большая Куляжка / Bolshaya Kulyazhka		Ерик Чайка / Erik Chaika	
		поверхностный слой / surface layer	придонный слой / bottom layer	поверхностный слой / surface layer	придонный слой / bottom layer	поверхностный слой / surface layer	придонный слой / bottom layer
Калий, мг/л / Potassium, mg/l	50,0	2,05	2,1	4,325	4,16	3,65	3,3
Кальций, мг/л / Calcium, mg/l	180	31,2	33,1	28,45	26,22	27,7	28,8
Аммоний, мг/л / Ammonium, mg/l	0,5	менее 0,5 / less than 0.5					
Барий, мг/л / Barium, mg/l	0,74	менее 0,1 / less than 0.1					
Натрий, мг/л / Sodium, mg/l	120	22,52	22,16	28,7	28,5	23,65	23,05
Магний, мг/л / Magnesium, mg/l	40	13,5	13,38	13,9	13,2	11,6	11,7
Стронций, мг/л / Strontium, mg/l	0,40	0,472	0,458	0,45	0,406	0,345	0,355
Хлорид, мг/л / Chloride, mg/l	300	43	43	59,25	59,4	51	51
Литий, мг/л / Lithium, mg/l	0,08	менее 0,015 / less than 0.015					
Нитрит, мг/л / Nitrite, mg/l	0,08	менее 0,2 / less than 0.2					
Гидрокарбонат, мг/л / Bicarbonate, mg/l	не регламентируется / not regulated	76,94	90,9	29,05	32,88	58,2	87,75
Сульфат, мг/л / Sulfate, mg/l	100	91	92,4	82,5	82	63	63,5
Фторид, мг/л / Fluoride, mg/l	0,75	0,354	0,206	0,26	0,264	0,23	0,22
Сухой остаток (общая минерализация), мг/л / Dry residue (total mineralization), mg/l	не регламентируется / not regulated	326,4	353,6	380	356,8	342	329
Нитрат, мг/л / Nitrate, mg/l	40,0	менее 0,2 / less than 0.2					
Фосфат, мг/л / Phosphate, mg/l	0,15	менее 0,25 / less than 0.25					
pH	**	8,71	8,06	9,79	9,51	9,99	8,09
Общая жесткость, ºЖ / Total stiffness, °C	7	3,118	3,224	2,92	2,934	2,925	3,07
Мутность, мг/л (по формазину) / Turbidity, mg/l (by formazin)	2,6	1,01	1,294	1,21	1,244	2,25	1,845
Перманганатная окисляемость, мг/л / Permanganate oxidation, mg/l	5,0	6,54	6,74	7,38	7,40	12,05	12,35
Взвешенные вещества, мг/л / Suspended solids, mg/l	30±5%	14,68	25,86	24,93	45,60	38,50	63,50

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

Значительное снижение гидрокарбонатов в воде озера Большая Куляжка вследствие фотосинтеза связано, видимо, с обильной водной растительностью данного водоема.

Следствием интенсивного фотосинтеза у поверхности исследованных водоемов также может быть повышение содержания гидрокарбонатов в придонном слое озер и ерика в сравнении с поверхностным.

Из токсичных веществ в водоемах наблюдалось превышение ПДК ионов стронция. В отсутствие техногенного воздействия данный элемент может попадать в воду при растворении и выщелачивании таких геологических пород, как известняки, доломиты, гипсы. Концентрация стронция в воде сильно зависит от геологического состава водоносного горизонта. Наибольшие природные концентрации наблюдаются в регионах с залежами сульфатных и карбонатных пород, которые встречаются в Волго-Ахтубинской пойме (на территории Волгоградской области).

Для дальнейшего проведения мониторинга качества воды необходимо проведение классификации изученных водоемов по содержанию преобладающих ионов (Алекин, 1953), полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание основных ионов в пробах воды (поверхностный слой) озер Клетское, Большая Куляжка, ерика Чайка
Table 2 – The content of basic ions in water samples (surface layer) of lakes Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka, and erika Chaika

Содержание ионов / Ion content	Клетское / Kletskoye		Большая Куляжка / Bolshaya Kulyazhka		Ерик Чайка / Erik Chaika	
	мг-экв/л / mg-eq/l	мг-экв, % / mg-eq, %	мг-экв/л / mg-eq/l	мг-экв,% / mg-eq, %	мг-экв/л / mg-eq/l	мг-экв,% / mg-eq, %
калий / potassium	0,05	0,64	0,11	1,41	0,09	1,30
кальций / calcium	1,56	19,23	1,42	18,17	1,38	19,25
натрий / sodium	0,98	12,09	1,25	15,98	1,03	14,32
магний / magnesium	1,11	13,72	1,14	14,64	0,95	13,29
стронций / strontium	0,01	0,13	0,01	0,13	0,008	0,11
хлорид / chloride	1,21	14,98	1,67	21,40	1,44	20,03
гидрокарбонат / bicarbonate	1,26	15,58	0,48	6,10	0,95	13,28
сульфат / sulfate	1,89	23,39	1,72	21,98	1,31	18,26
фторид / fluoride	0,01	0,23	0,01	0,18	0,01	0,17

Из проведенных расчетов можно сделать следующие выводы.

Во всех изученных водоемах вода пресная с минерализацией до 1 г/л (таблица 1).

Озеро Клетское относится к сульфатному классу, группе кальция, тип второй. К этому типу относится большинство рек, озер и подземных вод малой и умеренной минерализации.

В озере Большая Куляжка преобладающим анионом также является сульфат, довольно близка к данному показателю концентрация хлорида, преобладающим катионом – кальций. Соотношение ионов определяет класс воды данного водоема: сульфатный класс, группа кальция, третий тип.

В ерике Чайка преобладающим анионом является хлорид, преобладающим катионом – кальций, pH воды – слабощелочной. Данный водоем относится к хлоридному классу, группе кальция, тип третий. К этому типу относится большинство рек, озер и подземных вод малой и умеренной минерализации.

Для озерных вод характерна слабощелочная реакция среды, в озере Большая Куляжка и ерике Чайка pH была выше 9, в этих условиях происходит трансформация состава озерных вод по сульфатному направлению, что и наблюдалось для озер Клетское и Большая Куляжка. В составе катионов в водах сульфатного класса, также как и в водах гидрокарбонатного класса, преобладает кальций, в сульфатных водах по сравнению с гидрокарбонатными водами сильно возрастает содержание ионов натрия (таблица 2).

Ионы сульфатов, содержание которых в пробах воды изученных водоемов, было достаточно высоким, могут поступать в природные воды в процессе растворения гипсовых пород, биохимических процессов окисления сульфидов, серы и органических серосодержащих веществ (Воронович, 2003).

В изученных нами водоемах возможно первичное поступление сульфатов с грунтовыми водами, в дальнейшем протекают окислительно-восстановительные реакции с участием серы, в воде и донных отложениях.

Составной частью Волго-Ахтубинской речной долины являются четвертичные аллювиальные отложения (Кудинов, 2004). Формирование химического состава подземных вод в этих отложениях происходит в условиях аридного климата, с преобладанием испарения с земной поверхности над количеством атмосферных осадков. В период весенне-летних паводков происходит затопление водой низменной части поймы и резкий подъем грунтовых вод на незатопляемой территории, вследствие чего происходит засоление подземных вод легко растворимыми солями, в основном сульфатами и хлоридами[16]. Процессы вторичного засоления почв из-за орошения земель, также изменяют природное качество вод за счет увеличения хлоридов, сульфатов и натрия.

В ранее проведенных исследованиях также показано увеличение сульфатов в ериках Песчаный (входит в озерную систему Чайка) и Дудаченок Волго-Ахтубинской поймы [17, 18].

Высокое содержание сульфатов в воде негативно сказывается на ее качестве. Восстановление данных ионов сульфатредуцирующими бактериями в придонной области эвтрофицированного водоема приводит к образованию сероводорода, являющегося токсичным соединением, что негативно сказывается на флоре и фауне и может привести к ее гибели.

Гидрохимические показатели водоемов тесно связаны с химическим составом донных отложений, формирующимся в результате геохимических и микробиологических процессов.

Химические и агрохимические показатели донных отложений озер Клетское, Большая Куляжка, ерика Чайка приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физические и химические показатели донных отложений из озер Клетское, Большая Куляжка, ерика Чайка
Table 3 – Physical and chemical parameters of bottom sediments from lakes Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka, and erika Chaika

Показатель / Indicator	Клетское / Kletskoye	Большая Куляжка / Bolshaya Kulyazhka	Ерик Чайка / Erik Chaika
Калий, мг/кг / Potassium, mg/kg	68,93	70,67	57,90
Кальций, мг/кг / Calcium, mg/kg	1112,00	896,67	1630,00
Натрий, мг/кг / Sodium, mg/kg	78,58	84,00	115,00
Магний, мг/кг / Magnesium, mg/kg	195,65	169,33	244,00
Аммоний, мг/кг / Ammonium, mg/kg	8,31	2,36	менее 2 / less than 2
Сульфат, мг/кг / Sulfate, mg/kg	4015,00	3420,00	6250,00
Нитрат, мг/кг / Nitrate, mg/kg/	68,73	49,40	119,00
Фосфат, мг/кг / Phosphate, mg/kg	3,13	2,47	менее 3 / less than 3
Хлорид, мг/кг / Chloride, mg/kg	82,35	101,33	174,00
Органическое вещество, % / Organic matter, %	4,91	1,89	6,67
pH	7,23	8,13	7,70
Азот общий, % / Common nitrogen, %	0,21	0,27	более 0,3 / more than 0.3
Фосфор валовый, % / Total phosphorus, %	0,11	0,061	0,20
Влажность, % / Humidity, %	3,20	3,43	5,00
Гранулометрический состав, 1,0-0,25 мм % / Granulometric composition, 1,0-0,25 mm %	0,41	0,80	1,70
Гранулометрический состав, 0,25-0,05 мм,% / Granulometric composition, 0.25-0.05 mm,%	17,45	5,31	11,72
Гранулометрический состав, 0,05-0,01 мм,% / Granulometric composition, 0.05-0.01 mm,%	59,78	63,13	65,03
Гранулометрический состав, 0,01-0,005 мм, % / Granulometric composition, 0.01-0.005 mm, %	11,17	15,64	10,89
Гранулометрический состав, 0,005-0,001 мм,% / Granulometric composition, 0.005-0.001 mm,%	9,22	12,6	8,92
Гранулометрический состав менее 0,001 мм, % / Granulometric composition less than 0.001 mm, %	1,98	2,52	1,74

Одним из наиболее значительных факторов, обусловливающих способность донных отложений концентрировать и удерживать микроэлементы, является гранулометрический состав. Как видно из представленных данных, наиболее значительным для всех объектов является содержание фракции 0,05-0,01, которую относят к крупным илам. Эта фракция является разделяющей между первичными и вторичными продуктами осадочных пород – алевритами и пелитами [19]. С уменьшением размера частиц донных отложений вследствие их большой площади поверхности увеличивается адсорбционная способность по отношению к различным элементам.

Концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях меняются в результате процессов сорбции минеральным и органическим веществом, комплексообразования, образования и осаждения труднорастворимых соединений.

В основе геохимических процессов, протекающих в донных отложениях, лежат окислительно-восстановительные реакции, приводящие к образованию термодинамически стабильных соединений.

Термодинамически стабильной формой соединений серы являются сульфаты, содержание которых в донных отложениях изученных водоемов является наиболее высоким в сравнении с другими ионами.

Значительное содержание иона сульфата, не являющегося формально загрязняющим веществом в воде и в донных отложениях (таблица 2-3) может негативно влиять на данные водоемы вследствие особенностей их гидрологического режима, климата и др. факторов.

В небольших маломинерализованных и хорошо прогреваемых озерах с богато развитой жизнью биологический фактор является одним из важнейших в отношении особенностей гидрохимического режима озера.

Круговорот серы в водоемах (окисление и восстановление) в системе «вода-донные отложения» осуществляется в основном бактериями.

Соединения серы, которые при этом образуются, оказывают иногда решающее влияние на общую картину биологических процессов в водоеме и на направленность протекающих в нем геохимических процессов. Восстановление сульфатов сульфатредуцирующими бактериями в условиях замедленного водообмена в анаэробной зоне при наличии достаточного количества органического вещества является основным источником образования сероводорода (очень реакционно способного соединения), оказывающего влияние и на формирование донных осадков в осадочные породы. В результате данного процесса образуется сульфид железа, придающий озерному илу черный цвет. В свою очередь под влиянием изменения pH воды в кислую сторону, например, под влиянием накопления диоксида углерода после цветения водоема, происходит разложение сульфидов и появление в воде сероводорода, что может повлечь за собой гибель донной фауны и бентосоядных рыб, таких как лещ. Таким образом, наличие в воде и в донных отложениях исследованных водоемов значительных количеств сульфатов наряду с замедленным водообменом может привести к ухудшению состояния флоры и фауны данных водоемов вследствие выделения значительного количества сероводорода [20]. Процесс сульфатредукции особенно активно протекает в водоемах, подверженных загрязнению и является одним из наиболее негативных его последствий, приводящих к гибели жизни в водоеме. Данный процесс усиливается в результате эвтрофирования водоема под влиянием сброса бытовых сточных вод, богатых биогенами (азотом и фосфором).

Образующийся сероводород может окисляться в кислородной среде, что приводит к вторичному повышению сульфат-ионов в воде водоема.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Проведенные мероприятия по расчистке водных объектов поймы и строительству регулирующих водопропускных сооружений (ВПС) улучшили состояние водных объектов: ерика Чайка и озера Клетское.

Однако на основании полученных данных можно сделать вывод, что для каждого из изученных водоемов необходим свой комплекс мер по экологической реабилитации, включающий как внешние (мероприятия на водосборном бассейне), так и внутренние (инженерные, химические и биологические) меры на самом водоеме.

Для ерика Чайка в результате ранее проведенных исследований предложено восстановление на его тупиковом конце высохшего в 2000-х годах озера и обеспечение его проточности путем применения инженерных методов [17]. На самом водоеме можно предложить периодическое выкашивание воздушно-водной растительности и изъятие донных отложений в результате дноуглубления и дноочистки.

Вокруг озера Клетское довольно плотная застройка, имеется пляж, вода используется населением для хозяйственно-бытовых нужд; в то же время водоем является объектом рекреационного значения. В 2024 году на озере Клетское введено в эксплуатацию водопропускное сооружение с установленными затворами, препятствующими быстрому оттоку воды и помогающими насыщению подземных горизонтов. За счет этого наполняемость озера водой выросла, и улучшилось качество жизни порядка 5,5 тысяч человек, использующих воду для хозяйственных нужд.

Для уменьшения скорости процесса эвтрофикации озера, приводящего к тяжелым последствиям для экосистемы, необходимо проводить контроль за состоянием водоохранной зоны, неконтролируемым сбросом в воду хозяйственно-бытовых сточных вод, содержащих биогенные вещества. Также необходимо периодическое выкашивание воздушно-водной растительности и сбор плавающей растительности.

Озеро Большая Куляжка, вода в котором является наиболее загрязненной, необходимо также очищать от макрофитов с проведением мероприятий по дноочистке и изъятию донных отложений после проведения дополнительных исследований, что может снизить чрезмерное заиливание водного объекта и уменьшить внутреннее эвтрофическое воздействие донных отложений.

Таким образом, для улучшения состояния данных водоемов необходимо проведение мониторинга качества воды, а также продолжение экологической реабилитации с решением проблемы утилизации донных отложений.

Заключение. Анализ современного состояния отдельных водных объектов Волго-Ахтубинской поймы, играющих средообразующую роль в данной уникальной экологической системе засушливого юга России, доказывает необходимость их дальнейшего восстановления.

Необходимо проведение мониторинга качества воды в озерах Клетское, Большая Куляжка и ерике Чайка с целью определения комплекса мер по их экологической реабилитации.

В настоящем исследовании проведен гидрохимический анализ и определен тип воды и основные загрязняющие вещества в озерах Клетское, Большая Куляжка и ерике Чайка. Во всех трех водоемах происходит в большей или меньшей степени процесс эвтрофикации. Основными проблемами данных водоемов является маловодность, высокое содержание в воде и донных отложениях сульфатов и легкоокисляющихся веществ. Значение перманганатной окисляемости было превышено в пробах всех объектов, составляя 1,3 ПДК в воде оз. Клетское, 1,48 ПДК в воде оз. Большая Куляжка, 2,41 ПДК в воде ерика Чайка. Превышено содержание ионов стронция (1,18 ПДК в пробах воды оз. Клетское, 1,13 ПДК в пробах воды оз. Большая Куляжка), что вследствие способности данного иона к обмену с ионом кальция может приводить к накоплению стронция в костной системе рыб. Значительное содержание сульфатов и органического вещества в воде и в донных отложениях исследованных водоемов в условиях замедленного водообмена может привести к увеличению содержания сероводорода в воде, что негативно скажется на их флоре и фауне. Следовательно, необходимо проводить дальнейшие мероприятия по экологической реабилитации данных водотоков и водоемов, включающие комплекс внешних и внутренних мер.

Conclusion. The analysis of the current state of individual water bodies in the Volga-Akhtuba floodplain, which play a significant role in this unique ecological system in the arid south of Russia, demonstrates the need for their further restoration.

It is necessary to monitor the water quality in the Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka, and Chaika lakes in order to determine a set of measures for their ecological rehabilitation.

In this study, a hydro-chemical analysis was conducted to determine the type of water and the main pollutants in the Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka, and Chaika lakes.

In this study, a hydro-chemical analysis was performed and the type of water in lakes Kletskoye, Bolshaya Kulyazhka and Yerike Chaika was determined. In all three reservoirs, the process of eutrophication occurs to a greater or lesser extent, the main problems of these reservoirs are low water content, high content of sulfates and easily oxidizing substances in water and bottom sediments. The value of permanganate oxidizability was exceeded in the samples of all objects, amounting to 1.3 MPC in lake water. Kletskoye, 1.48 MPC in lake water. Bolshaya Kulyazhka, 2.41 MPC in the water of the Chaika river. The content of strontium ions was exceeded (1.18 MPC in lake water samples. Kletskoye, 1.13 MPC in lake Bolshaya Kulyazhka), which due to the ability of this ion to exchange with a calcium ion can lead to the accumulation of strontium in the bone system of fish. A significant content of sulfates and organic matter in the water and sediments of the studied reservoirs under conditions of slow water exchange can lead to an increase in the content of hydrogen sulfide in the water, which will negatively affect their flora and fauna. Therefore, it is necessary to carry out further measures for the ecological rehabilitation of these watercourses and reservoirs, including a set of external and internal measures.

Библиографический список

1. Моисеенко Т. И. Развитие идей В. И. Вернадского о природных водах: биогеохимические процессы и качество вод. Геохимия. 2023. Т. 68. № 10. С. 1-12.

2. Моисеенко Т. И. Оценка качества вод и «здоровья» экосистем с позиций экологической парадигмы. Водное хозяйство России. 2017. № 3. С. 104-124.

3. 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.

4. Овчарова А. Ю. Причины деградации ландшафтов Волго-Ахтубинской поймы. Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2013. № 1. С. 77-80.

5. Чукаева М. А., Сапелко Т. В. Оценка экологического состояния водных экосистем по изучению донных отложений озер. Записки горного института. 2025. Т. 271. № 16225. С. 53-62.

6. Закруткин В. Е., Гибков Е. В., Решетняк О. С., Решетняк В. Н. Донные отложения как индикатор первичного и источник вторичного загрязнения речных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса. Известия РАН. Серия географическая. 2020. № 2 (84). С. 259-271.

7. Плюснин А. М., Хажеева З. И., Санжанова С. С. и др. Сульфатные минеральные озера западного Забайкалья: условия образования, химический состав воды и донных отложений. Геология и геофизика. 2020. № 8 (61). С. 1055-1073.

8. Решетняк О. С., Закруткин В. Е. Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами (по данным лабораторного эксперимента). Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2016. № 4. С. 102-109.

9. Савостикова О. Н., Ушакова О. Н., Трегубова Л. Ю. Мониторинг химического и биологического состава придонного ила (обзор литературы). Гигиена и санитария. 2022. № 5 (101). С. 511-514.

10. Маханова Е. В. Диагностика экологического состояния водоема: сопоставление результатов химического анализа, биотестирования и биоиндикации. Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 2 (78). С. 102-110.

11. Селезнев В. А., Селезнева А. В., Рахуба А. В. и др. Комплексная оценка экологического состояния малых рек (на примере реки Подстепновки). 2018. Водное хозяйство России. 2018. № 6. С. 83-100.

12. Куанова А. С., Ершова Т. С., Чаплыгин В. А. и др. Видовые особенности накопления химических элементов некоторыми видами макрофитов дельты Волги. Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19. № 4. С. 149-153.

13. Дрововозова Т. И., Кортунова А. К., Манжина С. А. Экологическая оценка состояния малых водных объектов в зоне влияния гидромелиоративных систем. Экология и водное хозяйство. 2019. № 3 (03). С. 14-26.

14. Садчиков А. П., Кудряшов М. А. Гидроботаника: прибрежно-водная растительность. М.: Юрайт, 2022. 254 с.

15. Беляев А. И., Пугачёва А. М., Истомин А. П. и др. Изучение современного гидрологического режима озерной системы "Чайка" на территории Волго-Ахтубинской поймы. Экология и промышленность России. 2023. № 7 (27). С. 60-65.

16. Вергунова А. А., Бабухин И. Н., Сокольская О. Б. Исследования реакций видов Salix на воздействия солевыми растворами. Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 58-64.

17. Истомин А. П., Межевова А. С., Истомин С. А. и др. Особенности гидрологического режима озерной системы Чайка, оценка качества воды и донных отложений. Russ. J. Earth. Sci. 2024. № 24. ES5005.

18. Межевова А. С. Современное экологическое состояние водных объектов Волго-Ахтубинской поймы (на примере ерика Дудаченок). Экология и промышленность России. 2024. № 3 (28). С. 60-65.

19. Иванов Д. В., Валиев В. С., Зиганшин И. И. и др. Структурная взаимосвязь гранулометрического состава, содержания органического вещества и тяжелых металлов в донных отложениях. Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 2. С. 23-30.

20. Фаухутдинов А. А., Сафарова В. И., Смирнова Т. П. и др. Перераспределение и миграция серасодержащих соединений в воде и донных отложениях малых рек. Башкирский химический журнал. 2008. № 1 (15). С. 76-81.

References

1. Moiseenko T. I. The development of V. I. Vernadsky's ideas about natural waters: biogeochemical processes and water quality. Geological chemistry. 2023. V. 68. No 10. Pp. 1-12.

2. Moiseenko T. I. Assessment of water quality and ecosystem "health" from the standpoint of the ecological paradigm. Russian water industry. 2017. No 3. Pp. 104-124.

3. Mezhevova A. S. The current ecological state of the water bodies of the Volga-Akhtuba floodplain (on the example of the Dudachenok river). Ecology and industry of Russia. 2024. Vol. 28. No 3. Pp. 60-65.

4. Ovcharova A. Y. Causes of degradation of landscapes of the Volga-Akhtuba floodplain. Proceedings of the higher education institutions. The North Caucasus region. Natural sciences. 2013. No 1. Pp. 77-80.

5. Chukaeva M. A., Sapelko T. V. Assessment of the ecological state of aquatic ecosystems based on the study of bottom sediments of lakes. Notes of the Mining Institute. 2025. Vol. 271. No 16225. Pp. 53-62

6. Zakrutkin V. E., Gibkov E. V., Reshetnyak O. S., Reshetnyak V. N. Bottom sediments as an indicator of primary and source of secondary pollution of river waters of the coal-mining territories of Eastern Donbass. News of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical. 2020. No 2 (84). Pp. 259-271.

7. Plyusnin A. M., Khazheeva Z. I., Sanzhanova S. S. et al. Sulfate mineral lakes of western Transbaikalia: conditions of formation, chemical composition of water and bottom sediments. Geology and Geophysics. 2020. No 8 (61). Pp. 1055-1073.

8. Reshetnyak O. S., Zakrutkin V. E. Bottom sediments as a source of secondary pollution of river waters with metals (according to laboratory experiment data). Proceedings of the higher education institutions. The North Caucasus region. Natural sciences. 2016. No 4. Pp. 102-109.

9. Savostikova O. N., Ushakova O. N., Tregubova L. Yu. Monitoring of the chemical and biological composition of bottom sludge (literature review). Hygiene and sanitation. 2022. No 5 (101). Pp. 511-514.

10. Makhanova E. V. Diagnostics of the ecological state of a reservoir: comparison of the results of chemical analysis, biological testing and biological indication of Water and ecology: problems and solutions. 2019. No 2 (78). Pp. 102-110.
11. Seleznev V. A., Selezneva A. V., Rakhuba A. V. et al. Comprehensive assessment of the ecological status of small rivers (using the example of the Podstepnovka River). 2018. Russian water industry. 2018. No 6. Pp. 83-100.
12. Kuanova A. S., Ershova T. S., Chaplygin V. A. et al. Specific features of accumulation of chemical elements by some species of macrophytes of the Volga Delta. The South of Russia: ecology, development. 2024. Vol. 19. No. 4. Pp. 149-153.
13. Drovovozova T. I., Kortunova A. K., Manzhina S. A. Ecological assessment of the state of small water bodies in the zone of influence of hydro-reclamation systems. Ecology and water management. 2019. No 3 (03). Pp. 14-26.
14. Sadchikov A. P., Kudryashov M. A. Hydrobotany: coastal-aquatic vegetation. Moscow: Yurayt, 2022. 254 p.
15. Belyaev A. I., Pugacheva A.M., Istomin A. P. et al. The study of the modern hydrological regime of the Chaika lake system in the Volga-Akhtuba floodplain. Ecology and industry of Russia. 2023. No 7 (27). Pp. 60-65.
16. Vergunova A. A., Babukhin I. N., Sokolskaya O. B. Research on the reactions of Salix species to salt solutions. Scientific and Agronomic Journal. 2023. No 1 (120). Pp. 58-64.
17. Istomin A. P., Mezhevova A. S., Istomin S. A. et al. Features of the hydrological regime of the Chaika lake system, assessment of water quality and bottom sediments. Russ. J. Earth Sci. 2024. No 24. ES5005.
18. Mezhevova A. S. The current ecological state of the water bodies of the Volga-Akhtuba floodplain (on the example of the Dudachenok river). Ecology and industry of Russia. 2024. No 3 (28). Pp. 60-65.
19. Ivanov D. V., Valiev V. S., Ziganshin I. I. et al. The structural relationship of the granulometric composition, the content of organic matter and heavy metals in bottom sediments. Russian Journal of Applied Ecology. 2020. No 2. Pp. 23-30.
20. Faukhutdinov A. A., Safarova V. I., Smirnova T. P. et al. Redistribution and migration of sulfur-containing compounds in water and bottom sediments of small rivers. Bashkir Chemical Journal. 2008. No 1 (15). Pp. 76-81.

Информация об авторах
Межевова Алина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: mezhevova@vfanc.ru
Рябуха Анна Федоровна, кандидат фармацевтических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории анализа почв ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), e-mail: ryabuha-af@vfanc.ru
Authors' Information
Mezhevova Alina Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Soil Analysis Laboratory, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), e-mail: mezhevova@vfanc.ru
Ryabukha Anna Fedorovna, Candidate of Pharmaceutical Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Ave., 97), e-mail: ryabuha-af@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-21

THE CLIMATE CHANGES CURRENT TRENDS AND THE BARLEY YIELD IN THE STEPPE ZONE OF THE URAL REGION

Neverov A. A.

Federal scientific Center for biological Systems and agricultural Technologies RAS
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail:nevalex2008@yandex.ru

Received 22.12.2025 Submitted 04.02.2026

The research was conducted as part of the implementation of State Assignment No. FNWZ-2022-0014.

Summary
This article demonstrates changes in the climatic characteristics of the Orenburg Cis-Urals steppe zone over the past 135 years. The contribution of precipitation and average daily air temperature by month to the annual variability of these parameters is shown. A mathematical model of barley yield demonstrates a strong correlation with May weather conditions over the past 30 years.

Abstract
Introduction. Global warming is intensifying the impact of heat and drought in arid and semi-arid regions, leading to food insecurity. Therefore, it is crucial to study the impact of climate change on agriculture to mitigate potential adverse effects on food security. **The object** of the study is long-term series of average daily air temperature and precipitation for the year, broken down by months and decades (1891-2025), as well as barley yield (1995-2025) in the Orenburg district of the Orenburg region. **Materials and methods.** Statistica 6.1 RUS, NCSS and PASS 2000 programs were used for statistical analysis. Trends in meteorological factors were calculated using the harmonic weights method in the author's Prognostics v-5 program with a 22-year moving averaging phase. Correlation and regression analysis of the relationship between barley yield and meteorological factors, as well as the contribution of each factor to the variability of the resultant trait, were carried out on the time interval 1995-2025. **Results and conclusions.** Over the long history of meteorological observations (1891-2025), significant changes in climatic conditions have occurred in the

central steppe zone of the Orenburg region, specifically an increase in the average annual temperature from 3.3°C to 6.7°C according to the trend. The spring months of March and April have contributed the most to temperature variability over the past 30 years: 20 and 28.4 %, respectively. The trend dynamics of the average annual precipitation exhibit periodic fluctuations with superposition of cycles: 22, 26, and 39 years, with an upward trend in the last decade. The general pattern has been maintained over the past 135 years: the maximum annual precipitation does not exceed 380 mm according to the trend. In the past 30 years, the relationship between barley yield and weather conditions has become significantly dependent on weather conditions in May. The influence of average daily temperature in May on barley yield reached 43.4 %, while precipitation in the third ten-day period accounted for 10.7 % of the total weather factors, which accounted for 82 % of the variability in barley yield in the region. Over the past decade, there has been an increase in precipitation in May, accompanied by a decrease in air temperature, which will positively impact barley yield growth in the Orenburg steppe zone in the coming years.

Keywords: *conditions for growing barley, global warming, climatic conditions for growing barley, average annual temperatures, crop forecasting.*

Citation. Neverov A. A. The climate changes current trends and the barley yield in the steppe zone of the Ural region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 190-200 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-21.
Author's contribution. The author of the article provided was directly involved in the research. The obtained results were subjected to a comprehensive analysis.
Conflict of interest. Absent.

УДК 551.583:633.16

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И УРОЖАЙНОСТИ ЯЧМЕНЯ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ПРЕДУРАЛЬЯ

Неверов А. А., *кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник*

ФГБНУ «ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН»
г. Оренбург, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения Госзадания №FNWZ-2022-0014.

Актуальность. Глобальное потепление усиливает воздействие жары и засухи в засушливых и полузасушливых регионах, что приводит к нестабильности в сфере продовольственного обеспечения. Поэтому крайне важно изучать влияние изменения климата на сельское хозяйство, чтобы смягчить потенциально неблагоприятные последствия для продовольственной безопасности. **Объект исследования** – многолетние ряды среднесуточной температуры воздуха и осадков за год, в разрезе месяцев и декад (1891-2025 гг.), а также урожайности ячменя (1995-2025 гг.) в Оренбургском районе Оренбургской области. **Материалы и методы.** Для статистического анализа использовали программы Statistica 6.1 RUS, NCSSandPASS 2000. Тенденции метеорологических факторов рассчитывали методом гармонических весов в авторской программе Prognosticsv-5 с 22-летней фазой скользящего осреднения. Корреляционно-регрессионный анализ связи урожайности ячменя с метеофакторами, а также вклад каждого фактора в изменчивость результативного признака проводили на временном отрезке 1995-2025 гг. **Результаты и выводы.** За длительную историю метеонаблюдений (1891-2025 гг.) в центральной степной зоне Оренбургской области произошли существенные изменения климатических условий, а именно рост среднегодовой температуры с 3,3 °С до 6,7 °С по тренду. Наибольший вклад в изменчивость температуры за последние 30 лет оказывают весенние месяцы: март и апрель: 20 и 28,4 % соответственно. Динамика тренда среднегодового количества осадков совершает периодические колебания при суперпозиции циклов: 22 года, 26 и 39 лет с тенденцией роста в последнее десятилетие. Сохраняется общая закономерность в течение последних 135 лет: максимальная сумма осадков за год по тренду не превышает 380 мм. За последние 30 лет урожайность ячменя стала существенно зависеть от погодных условий в мае. Доля влияния среднесуточной температуры мая на урожайность ячменя достигла 43,4 % и осадков в третьей декаде месяца – 10,7 % из общей совокупности погодных факторов, детерминирующих 82 % изменчивости урожайности ячменя в регионе. За последнее десятилетие наметился рост осадков в мае при одновременном снижении температуры воздуха, что положительно отразится на росте урожайности ячменя в степной зоне Оренбуржья в ближайшие годы.

Ключевые слова: *условия возделывания ячменя, глобальное потепление, климатические условия возделывания ячменя, среднегодовые температуры, прогнозирование урожаев.*

Цитирование. Неверов А. А. Современные тенденции изменения климата и урожайности ячменя в степной зоне Предуралья. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 190-200. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-21.
Авторский вклад. Автор предоставленной статьи принимал непосредственное участие в проведении исследований. Полученные результаты подвергались всестороннему анализу.
Конфликт интересов. Отсутствует.

Введение. Известно [1], что климатические условия на нашей планете на протяжении последних 800 тысяч лет не были постоянными: происходили периодические колебания концентрации углекислого газа и, соответственно, температуры в нижних слоях атмосферы. В данном случае влияние человека на климат исключается. Для всех сегодня живущих людей на Земле важны изменения, происходящие в масштабе столетия. В последние 30-40 лет заметно ускорились темпы роста температуры приземного слоя воздуха – примерно на 1 °С в среднем по всей планете. Данное явление принято называть Глобальным Потеплением.

По сообщениям авторов [1-5], в последние десятилетия глобальный климат претерпевает стремительные изменения, и в ближайшее время ожидается значительное изменение температуры и количества осадков. Влияние изменения климата на продовольственную безопасность в различных регионах тесно связано с их географическими особенностями и конкретными видами сельскохозяйственных культур. Глобальное потепление усиливает воздействие жары и засухи в засушливых и полузасушливых регионах, что приводит к нестабильности в сфере продовольственного обеспечения. Поэтому крайне важно изучить влияние изменения климата на сельское хозяйство, чтобы смягчить потенциально неблагоприятные последствия для продовольственной безопасности.

Общеизвестно[6], что колебания урожайности в полузасушливых зонах земного шара естественным образом связаны с резкими изменениями погодных условий. Таким образом, чтобы повысить устойчивость регионов к изменению климата и обеспечить стабильность их продовольственных систем, им необходимо получить более полное представление о климатических факторах, влияющих на систему растениеводства и наиболее чувствительных к климатическим изменениям районах.

Согласно прогнозам [7-8], изменение климата в будущем приведёт к повышению глобальной температуры и увеличению изменчивости количества осадков.

Многочисленные исследования [9-10], предоставили эмпирические доказательства в поддержку теории о том, что климатические условия являются основным фактором, влияющим на динамику роста и качество зерновых культур. Повышение температуры может оказать как положительное, так и отрицательное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от конкретных климатических условий, преобладающих в регионе, где происходит изменение климата. В некоторых регионах мира выращивание зерновых может выиграть от потепления климата. Например, тенденции к потеплению, связанные с изменением климата, положительно сказались на производстве зерна в Китае. Описан перспективный сценарий для равнины Гуаньчжун, в котором ожидаемое повышение температуры и количества осадков в будущем коррелирует с постепенным увеличением урожайности по мере сокращения вегетационного периода.

На территории Приволжского округа, в который входит Оренбургская область, в целом средняя годовая температура с 1955 года выросла на 1,8 °С, годовые суммы осадков, особенно летние, практически не меняются с тенденцией их снижения. В округе наметилась устойчивая тенденция формирования блокирующих антициклонов и усиления засушливости, особенно центра и востока Оренбургской области. Данный регион существенно отличается от других регионов в составе округа по направленности и интенсивности климатических перемен [11]. Исследования современных изменений климата [12] в бассейне реки Урал с помощью статистического анализа показали устойчивый рост среднегодовой температуры для всего бассейна и лишь только в западной его части увеличение количества осадков.

Ряд исследователей [13] полагают, что в различных регионах изменения климата по-разному будут влиять на урожайность сельскохозяйственных культур.

В одних регионах улучшится тепловой режим и влагообеспеченность посевов, в других, наоборот, усилится засуха и экстремальные условия, неблагоприятные для большинства возделываемых агрокультур [14].

Повышенная потребность в эвапотранспирации, вызванная повышением температуры, в сочетании с относительно стабильным количеством осадков приводит к усилению водного стресса и повышению вероятности потери урожая зерновых культур [15, 16].

Цель исследований заключалась в прогнозировании тенденции изменения климата в степной зоне Предуралья, определении вклада каждого календарного месяца в изменчивость основных климатических параметров и влиянии погодных факторов на продуктивность ячменя.

Материалы и методы. Для определения тенденций изменения климата нами использовались временные ряды метеорологической информации по среднесуточной температуре воздуха и осадкам за период с 1891 по 2025 гг. из Оренбургского областного архива, а также материалы Оренбургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по г. Оренбургу. Урожайность ячменя за многолетний период (1936-2025 гг.) получена из ежегодных отчётов по валовым сборам и урожайности сельскохозяйственных культур Федеральной службы Государственной статистики по Оренбургскому району Оренбургской области (форма № 29-СХ).

Для статистического анализа использовали программы Statistica 6.1 RUS, NCSS and PASS 2000. Тенденции метеорологических факторов рассчитывали методом гармонических весов в авторской программе Prognostics v-5 с 22-летней фазой скользящего осреднения. Корреляционно-регрессионный анализ связи урожайности ячменя с метеофакторами, а также вклад каждого фактора в изменчивость результативного признака проводили на временном отрезке 1995-2025 гг.

Результаты и обсуждение. На основании 135-летних данных метеонаблюдений по г. Оренбургу нами определены тенденции изменения годового количества осадков и среднегодовой температуры воздуха путём осреднения метеоданных с фазой скольжения равной 22 годам (рисунок 1).

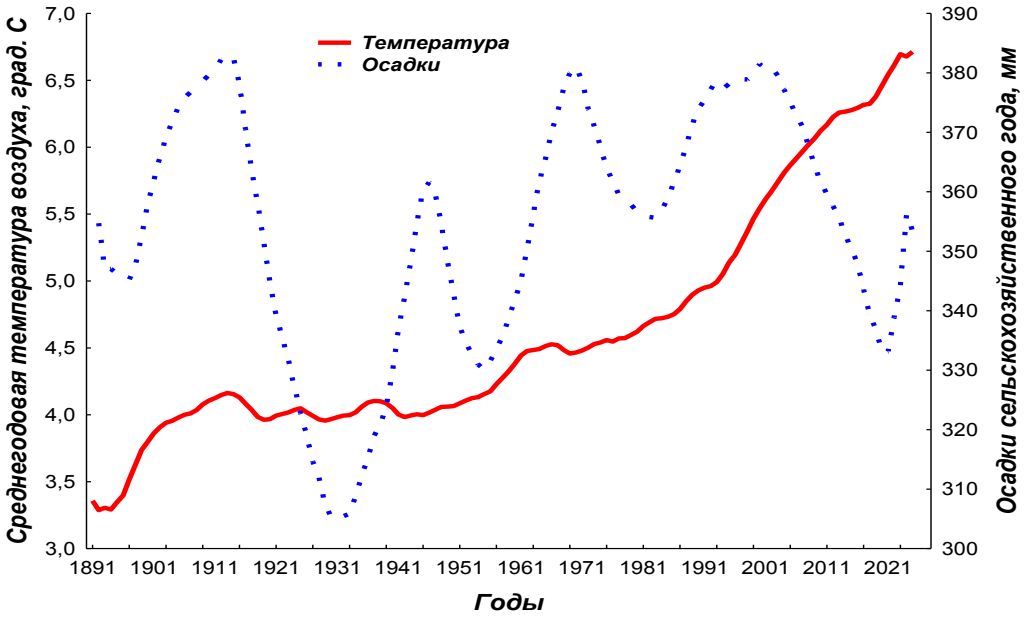


Рисунок 1 – Тенденции изменения среднегодовой температуры воздуха и годового количества осадков по г. Оренбургу (1891-2025 гг.)
Figure 1 – Trends in changes in average annual air temperature and annual precipitation in Orenburg (1891-2025)

За длительный период времени произошли существенные изменения климатических характеристик региона: температура воздуха повысилась с 3,3 °С до 6,7 °С по тренду, т. е. более чем в 2 раза. Динамика роста температуры в разные периоды времени различалась: резкий подъём температуры примерно до середины двадцатых годов в последующем замедлился на длительный период времени с небольшими колебаниями на уровне 4-4,5 °С до окончания семидесятых годов. Затем, с начала восьмидесятых годов на протяжении трёх десятилетий, температура повысилась ещё на 0,5 °С. С конца двадцатого века по настоящее время темпы роста температуры воздуха существенно ускорились, за последние 30-35 лет температура повысилась по тренду ещё примерно на 2,5 °С, что превзошло предшествующий период роста температуры примерно в 5 раз.

В отличие от температуры воздуха динамика годового количества осадков имела циклический синусоидальный характер. Методом наложения эпох нами выявлены циклы с периодичностью 22 года, 26 и 39 лет. В тридцатые и сороковые годы отмечалось значи-

тельное уменьшение осадков с 385 мм до 305 мм по тренду, в результате в этот период наблюдались сильные засухи и низкая урожайность зерновых культур в степных районах Оренбуржья. За всю историю метеонаблюдений можно отметить одну особенность динамики осадков по г. Оренбургу: максимальное количество осадков по тренду никогда не превышало 385 мм. В настоящее время за последние 4 года наблюдается тенденция роста осадков, которая совпадает с ростом солнечной активности и урожайности сельскохозяйственных культур.

Однако основным лимитирующим фактором урожайности сельскохозяйственных культур в Оренбургском Предуралье на сегодняшний день является рост температуры воздуха. Для сельскохозяйственного производства в растениеводстве важно знать динамику не только среднегодовых показателей температуры воздуха и осадков, но и вклад каждого месяца в изменчивость этих показателей.

Поскольку погодные факторы, детерминирующие изменения урожайности зерновых культур на протяжении 135 лет существенно менялись, нами для анализа вклада в изменчивость температуры и осадков были взяты последние тридцать лет.

По результатам регрессионного анализа за последние 30 лет (1995-2025 гг.) наибольший вклад в изменение среднесуточной температуры воздуха показали весенние месяцы: март – 20 % и апрель – 28,4 % (таблица 1).

Таблица 1 – Вклад среднемесячной температуры воздуха в изменчивость среднегодовой (1995-2025 гг.)
Table 1 – Contribution of average monthly air temperature to the variability of average annual air temperature (1995-2025)

Месяц года / Month	Вклад месяца в изменчивость среднегодовой температуры, % / Contribution of the month to the variability of the average annual temperature, %	B-коэффициент регрессии / B-regression coefficient	T-критерий / The T-criterion	P-уровень значимости коэффициента / P-significance level of the coefficient
Начальная ордината / Initial ordinate	-	2,81 ± 0,87	3,2	0,004
Январь / January	5,1	0,11 ± 0,02	5,5	0,000
Март / March	20,0	0,1 ± 0,02	4,4	0,000
Апрель / April	28,4	0,08 ± 0,02	3,8	0,001
Июнь / June	10,7	0,12 ± 0,03	3,9	0,000
Август / August	10,3	0,12 ± 0,03	4,1	0,000
Ноябрь / November	8,7	0,09 ± 0,02	3,7	0,001
Декабрь / December	5,1	0,06 ± 0,02	3,1	0,005
Итого R^2 / Total R^2	88,3			

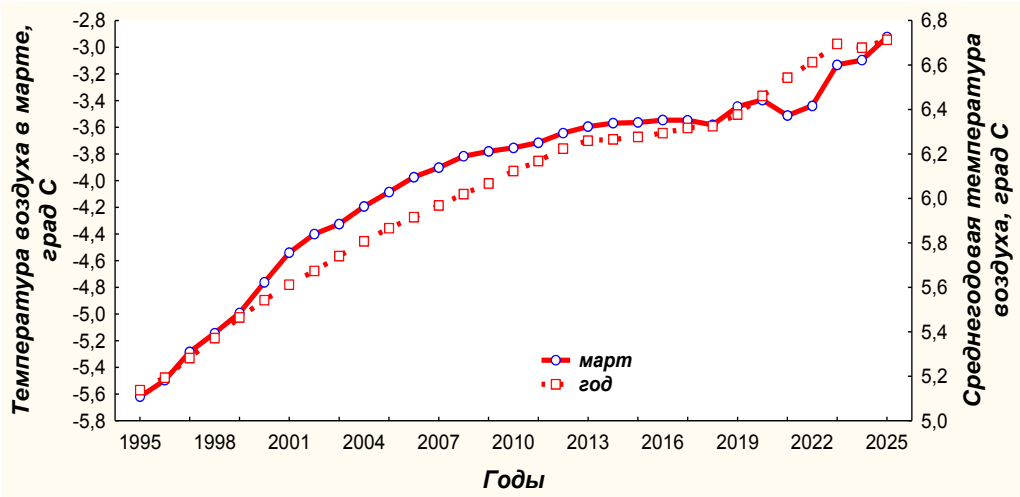


Рисунок 2 – Тенденция динамики температуры воздуха в марте и среднегодовой температуры по г. Оренбургу (1995-2025 гг.)
Figure 2 – Trends in air temperature dynamics in March and average annual temperature in Orenburg (1995-2025)

Основное потепление происходит весной: в марте и апреле, что ускоряет снеготаяние и начало возобновления вегетации многолетних и озимых культур. Также существенно растёт вклад летних месяцев: июня с вкладом 10,7 % и августа – 10,3 %, в меньшей степени влияние ноября – 8,6 %, декабря и января по 5,1 %. На рисунках 2 и 3 наглядно подтверждена данная связь синфазностью изменений температуры в марте и апреле со среднегодовой температурой воздуха.

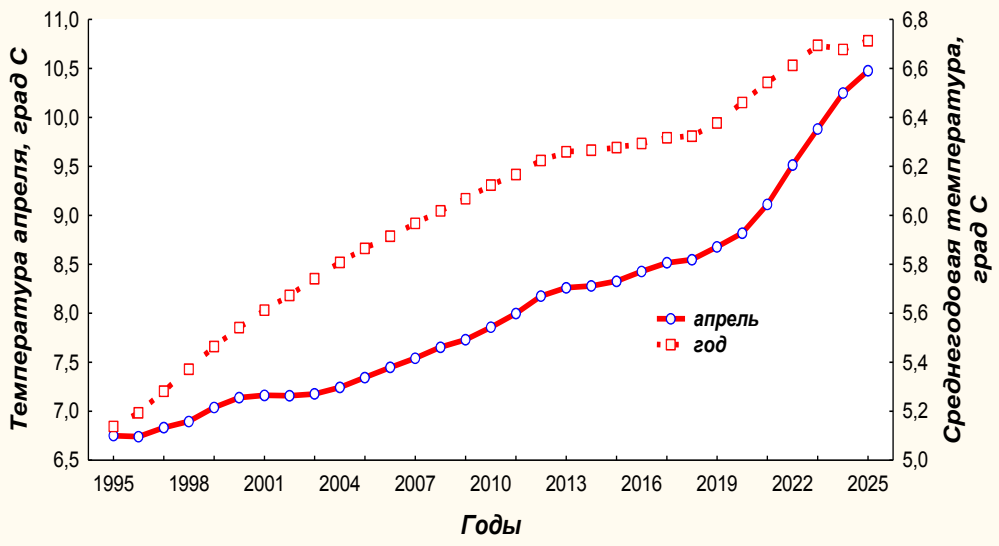


Рисунок 3 – Тенденция динамики температуры воздуха в апреле и среднегодовой температуры по г. Оренбургу (1995-2025 гг.)
Figure 3 – Trends in air temperature dynamics in April and average annual temperature in Orenburg (1995-2025)

Вклад осадков по месяцам года в суммарное их количество за год – иной в сравнении с температурой воздуха (таблица 2).

Таблица 2 – Вклад осадков по месяцам года в изменчивость их годовой суммы (1995-2025 гг.)
Table 2 – Contribution of precipitation by month of the year to the variability of its annual amount (1995-2025)

Месяц года / Month	Вклад осадков месяца в изменчивость годовой суммы осадков, % / Contribution of monthly precipitation to the variability of annual precipitation, %	B-коэффициент регрессии / B-regression coefficient	T-критерий / The T-criterion	P-уровень значимости коэффициента / P-significance level of the coefficient
Начальная ордината / Initial ordinate	-	83,6 ± 24,3	3,4	0,002
Январь / January	7,3	1,38 ± 0,44	3,1	0,005
Март / March	4,0	1,04 ± 0,41	2,5	0,019
Май / May	17,5	1,18 ± 0,27	4,4	0,000
Июль / July	29,5	1,46 ± 0,19	7,6	0,000
Сентябрь / September	13,2	0,85 ± 0,29	3,0	0,007
Октябрь / October	13,5	1,30 ± 0,28	4,6	0,000
Декабрь / December	4,7	1,28 ± 0,40	3,2	0,004
Итого R^2 / Total R^2	89,7			

Существенные изменения произошли в июле – 29,5 % и мае 17,5 % (рисунок 4-5), осенью в сентябре и октябре по 13,2 и 13,5 %.

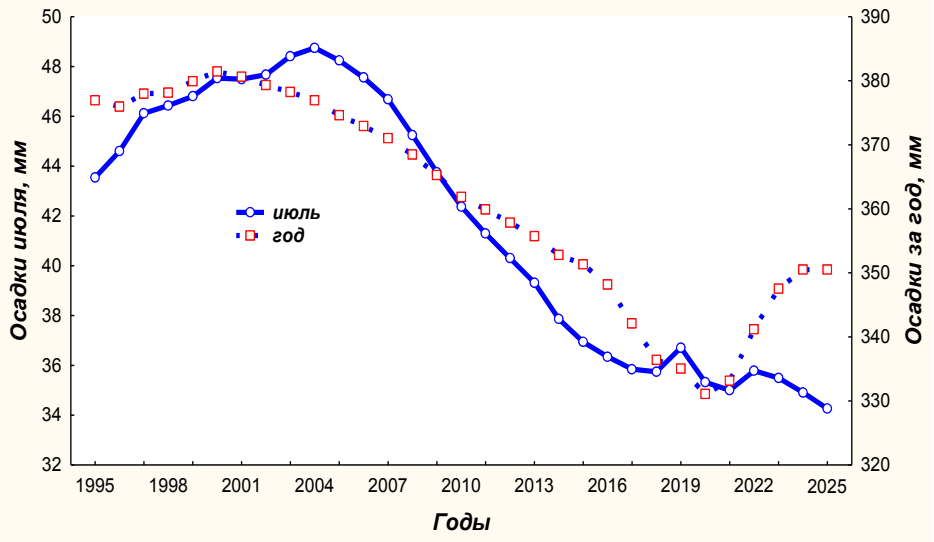


Рисунок 4 – Тенденция динамики осадков июля и годовой суммы осадков по г. Оренбургу (1995-2025 гг.)
Figure 4 – Trends in the dynamics of July precipitation and annual precipitation in Orenburg (1995-2025)

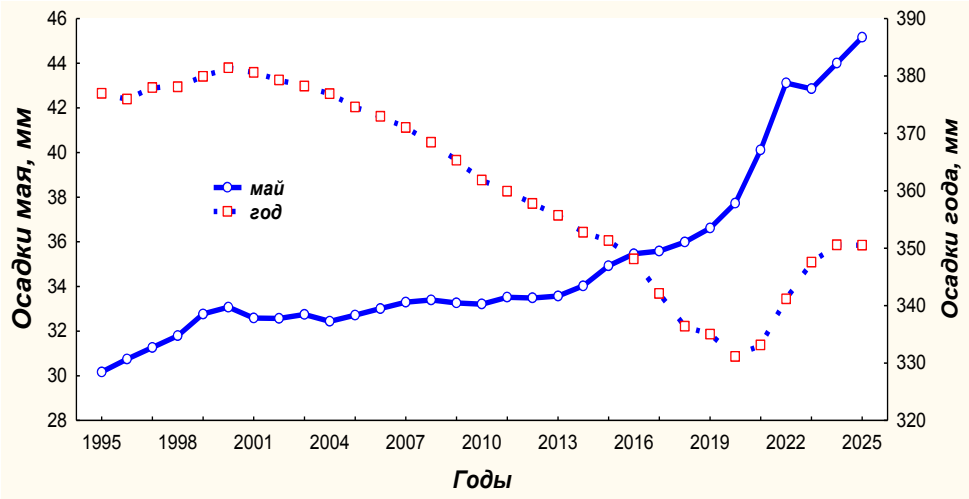


Рисунок 5 – Тенденция динамики осадков мая и годовой суммы осадков по г. Оренбургу (1995-2025 гг.)
Figure 5 – Trends in the dynamics of May precipitation and annual precipitation in Orenburg (1995-2025)

Изменения количества осадков в июле носят негативный характер: их количество за тридцать лет уменьшилось с 40 мм до 34 мм, в то же время наблюдается их рост в мае с 30 до 44 мм по тренду (рисунок 5).

Такая динамика способствует улучшению условий увлажнения в первой половине лета и усилению засушливости – во второй.

Наиболее точно передаёт связь урожайности с погодными условиями полученная нами модель регрессии урожайности ячменя за последние 30 лет (таблица 3).

Наибольшее влияние на дисперсию урожайности ячменя в этот период оказали четыре фактора: среднесуточная температура воздуха – в мае, во второй декаде октября и третьей декаде ноября прошедшего года, а также осадки в 3-ей декаде мая. Наибольшее влияние в этот период оказала температура мая с вкладом в изменчивость урожая 43,4 %. Суммарно, с учётом осадков третьей декады мая с вкладом 10,7 % в этот период детерминация урожайности от погоды в мае достигла 54 % из 82,2 %.

Таблица 3 – Связь урожайности ячменя с погодными условиями (1995-2025 гг.)
Table 3 – Relationship between barley yield and weather conditions (1995-2025)

Факторы погодных условий / Factors of weather conditions	Вклад фактора в изменчивость урожая, % / Contribution of the factor to crop variability, %	В-коэффициент регрессии / B-regression coefficient	Т-критерий / The T-criterion	Р-уровень значимости коэффициента / P-significance level of the coefficient
Начальная ордината / Initial ordinate	-	22,5 ± 4,9	4,6	0,000
Температура воздуха в мае, °С / Air temperature in May, °С	43,4	-0,68 ± 0,28	-2,5	0,021
Температура воздуха во 2-ой декады октября года предшествующего урожаю, °С / Air temperature in the second decade of October of the year preceding the harvest, °С	17,6	-0,90 ± 0,15	-6,1	0,000
Температура воздуха в 3-ей декады ноября года предшествующего урожаю, °С / Air temperature in the third decade of November of the year preceding the harvest, °С	10,5	-0,35 ± 0,08	-4,3	0,000
Осадки 3-ей декады мая, мм / Precipitation in the third decade of May, mm	10,7	0,16 ± 0,05	3,4	0,002
Итого R^2 / Total R^2	82,2			

Многолетняя тенденция(1891-2025 гг.) температуры и осадков в мае показана на рисунке 6.

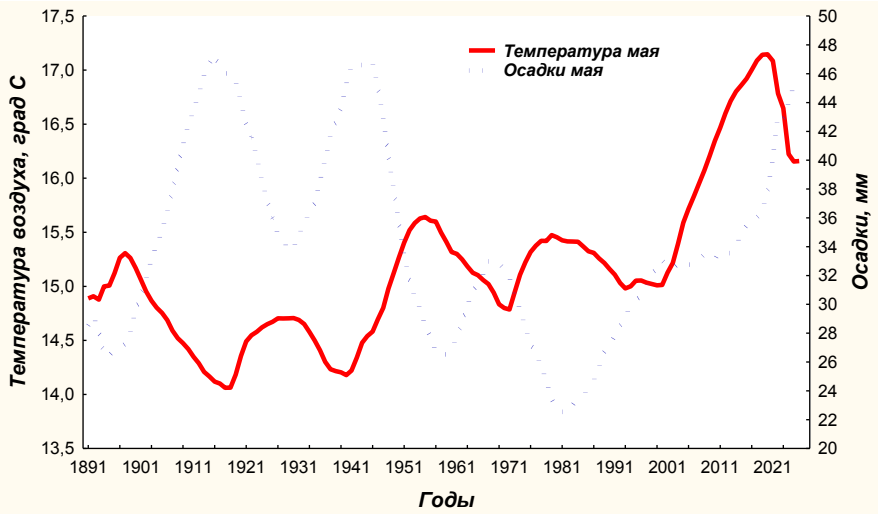


Рисунок 6 – Тенденция динамики осадков и среднесуточной температуры воздуха в мае по г. Оренбургу (1891-2025 гг.)
Figure 6 – Trends in precipitation dynamics and average daily air temperature in May in Orenburg (1891-2025)

Длительное время, на протяжении столетия, температура воздуха и осадки мая находились в анафазе, т. е. рост температуры сопровождался синхронным снижением количества выпавших осадков и, наоборот. Однако такая связь была нарушена примерно с 2005 года, когда рост температуры сопровождается ростом осадков, а в последние пять лет происходит не только снижение температуры, но и рост осадков в мае, что способствует некоторому росту урожайности ячменя (рисунок 7) и других ранних зерновых культур.

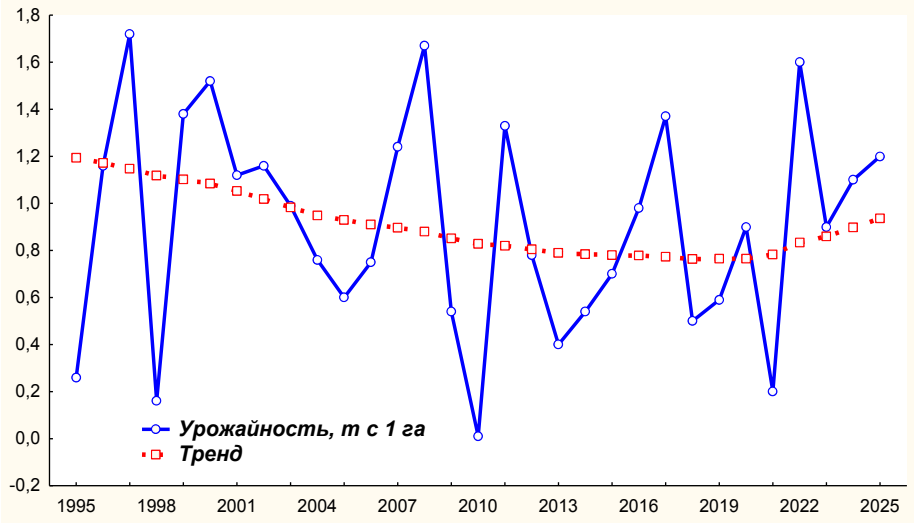


Рисунок 7 – Тенденция динамики урожайности ячменя в степной зоне Предуралья (1995-2025 гг.)
Figure 7 – Trends in barley yield dynamics in the steppe zone of the Urals (1995-2025)

Таким образом, в последние годы наметилась тенденция роста урожайности ячменя в степном Предуралье, чему способствует улучшение условий увлажнения в период начального роста растений и формирования узла кущения.

Заключение. За длительную историю метеонаблюдений (1891-2025 гг.) в центральной степной зоне Оренбургской области произошли существенные изменения климатических условий, а именно рост среднегодовой температуры с 3,3 °С до 6,7 °С по тренду. Темпы роста температуры за последние 30 лет значительно выросли в сравнении с аналогичным предшествующем периодом. Наибольший вклад в изменчивость температуры оказывают весенние месяцы: март и апрель: 20 и 28,4 % соответственно. Динамика тренда среднегодового количества осадков совершает периодические колебания при суперпозиции циклов: 22,26 и 39 лет с тенденцией роста в последнее десятилетие. Сохраняется общая закономерность в течение последних 135 лет: максимальная сумма осадков за год по тренду не превышает 380 мм. За последние 30 лет урожайность ячменя стала существенно зависеть от погодных условий в мае. Доля влияния среднесуточной температуры мая на урожайность ячменя достигла 43,4 % и осадков в третьей декаде месяца – 10,7 % из общей совокупности погодных факторов, детерминирующих 82 % изменчивости урожайности ячменя в регионе. За последнее десятилетие наметился рост осадков в мае при одновременном снижении температуры воздуха, что положительно отразится на росте урожайности ячменя в степной зоне Оренбуржья в ближайшие годы.

Conclusions. Over the long history of meteorological observations (1891-2025), significant changes in climatic conditions have occurred in the central steppe zone of the Orenburg region, specifically an increase in the average annual temperature from 3.3 °C to 6.7 °C according to the trend. The spring months of March and April have contributed the most to temperature variability over the past 30 years: 20 and 28.4 %, respectively. The trend dynamics of the average annual precipitation exhibit periodic fluctuations with superposition of cycles: 22, 26, and 39 years, with an upward trend in the last decade. The general pattern has been maintained over the past 135 years: the maximum annual precipitation does not exceed 380 mm according to the trend. In the past 30 years, the relationship between barley yield and weather conditions has become significantly dependent on weather conditions in May. The influence of average daily temperature in May on barley yield reached 43.4 %, while precipitation in the third ten-day period accounted for 10.7 % of the total weather factors, which accounted for 82 % of the variability in barley yield in the region. Over the past decade, there has been an increase in precipitation in May, accompanied by a decrease in air temperature, which will positively impact barley yield growth in the Orenburg steppe zone in the coming years.

Библиографический список

1. Jouzel J., Masson-Delmotte V. et al. Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. Science. 2007. V. 317. Pp. 793-796.

2. Kim J. B., Bae D. H. The impacts of global warming on climate zone changes over Asia based on CMIP6 projections. Earth and Space Science. 2021. V. 8. №. 8. Art. e2021EA001701.

3. Mohammadi S. et al. Impacts of recent climate change on crop yield can depend on local conditions in climatically diverse regions of Norway. Scientific Reports. 2023. V. 13. No 1. Art. 3633.

4. Muhammad Umair Shahzad et al. Machine learning-based cotton yield forecasting under climate change for precision agriculture. Smart Agricultural Technology. 2025. V. 12. Art. 101117.

5. Messori G., Muheki D., Batibeniz F., Bevacqua E., Suarez-Gutierrez L., Thiery W. Global mapping of concurrent hazards and impacts associated with climate extremes under climate change. Earth's Future. 2025. No 13 (6). Art. e2025EF006325.

6. Xuehui Gao, Jian Liu, Haixia Lin, et al. Using machine learning techniques to evaluate the impact of future climate change on wheat yields in Xinjiang, China. Agricultural Water Management. 2025. V. 317. Art. 109646.

7. Schaeffer R., Schipper E. L. F., et al. Ten new insights in climate science 2024. One Earth. 2025.

8. Hosseinzadehtalaei P., Termonia P., Tabari H. Projected changes in compound hot-dry events depend on the dry indicator considered. Communications Earth & Environment. 2024. No 5 (1). Art. 220.

9. Xuehui Gao, Jian Liu et al. Estimating future climate change impacts on wheat yield and water demand in Xinjiang, Northwest China using the DSSAT-CERES-Wheat model. Computers and Electronics in Agriculture. 2025. V. 237. Part B. Art. 110604.

10. Li S., Wang B., Li Liu D., et al. (2024). Can agronomic options alleviate the risk of compound drought-heat events during the wheat flowering period in southeastern Australia? European Journal of Agronomy. 2024. No 153. Art. 127030.

11. Переведенцев Ю. П., Важнова Н. А., Наумов Э. П., Шанталинский К. М., Шарипова Р. Б. Современные тенденции изменения климата в Приволжском федеральном округе. Георесурсы. 2012. № 6 (48). С. 19-24.

12. Сивохип Ж. Т., Павлейчик В. М. Современные тенденции изменения климата в бассейне реки Урал. Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 41. С. 106-117.

13. Туктарова Н. Г. Влияние современных тенденций изменения климата на урожайность озимых зерновых культур. Пермский аграрный вестник. 2019. № 1 (25). С. 80-86.

14. Keyu Xiang et al. Future climate change increases the risk of wheat yield loss due to agricultural drought in southeastern Australia. European Journal of Agronomy. 2026. V. 173. Art. 127909.

15. Praeploy Kongsurakan et al. Yield dynamics of major crops in Thailand for the period 1918–2023: Regional patterns of growth, stagnation, and climate sensitivity. Field Crops Research. 2025. V. 333. Art. 110094.

16. Neverov A. A., Abdrashitov R. R. Trends in regional climate change and field crop productivity in Orenburg steppe region of Russia. International Conference on World Technological Trends in Agrobusiness. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. https://conf.domnit.ru/ru/materialy/agritech-2021/

References

1. Jouzel J., Masson-Delmotte V. et al. Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years. Science. 2007. V. 317. Pp. 793-796.

2. Kim J. B., Bae D. H. The impacts of global warming on climate zone changes over Asia based on CMIP6 projections. Earth and Space Science. 2021. V. 8. №. 8. Art. e2021EA001701.

3. Mohammadi S. et al. Impacts of recent climate change on crop yield can depend on local conditions in climatically diverse regions of Norway. Scientific Reports. 2023. V. 13. No 1. Art. 3633.

4. Muhammad Umair Shahzad et al. Machine learning-based cotton yield forecasting under climate change for precision agriculture. Smart Agricultural Technology. 2025. V. 12. Art. 101117.

5. Messori G., Muheki D., Batibeniz F., Bevacqua E., Suarez-Gutierrez L., Thiery W. Global mapping of concurrent hazards and impacts associated with climate extremes under climate change. Earth's Future. 2025. No 13 (6). Art. e2025EF006325.

6. Xuehui Gao, Jian Liu, Haixia Lin et al. Using machine learning techniques to evaluate the impact of future climate change on wheat yields in Xinjiang, China. Agricultural Water Management. 2025. V. 317. Art. 109646.

7. Schaeffer R., Schipper E. L. F. et al. Ten new insights in climate science 2024. One Earth. 2025.

8. Hosseinzadehtalaei P., Termonia P., Tabari H. Projected changes in compound hot-dry events depend on the dry indicator considered. Communications Earth & Environment. 2024. No 5 (1). Art. 220.

9. Xuehui Gao, Jian Liu, et al. Estimating future climate change impacts on wheat yield and water demand in Xinjiang, Northwest China using the DSSAT-CERES-Wheat model. Computers and Electronics in Agriculture. 2025. V. 237. Part B. Art. 110604.

10. Li S., Wang B., Li Liu D., et al. (2024). Can agronomic options alleviate the risk of compound drought-heat events during the wheat flowering period in southeastern Australia? European Journal of Agronomy. 2024. No 153. Art. 127030.

11. Perevedentsev Yu. P., Vazhnova N. A., Naumov E. P., Shantalinsky K. M., Sharipova R. B. Current trends in climate change in the Volga Federal District. Geo-resources. 2012. No 6 (48). Pp. 19-24.

12. Sivokhip Zh. T., Pavleichik V. M. Current trends in climate change in the Ural River basin. Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences. 2022. V. 41. Pp. 106-117.

13. Tuktarova N. G. The impact of current trends in climate change on the yield of winter grain crops. Perm Agrarian Bulletin. 2019. No 1 (25). Pp. 80-86.

14. Keyu Xiang et al. Future climate change increases the risk of wheat yield loss due to agricultural drought in southeastern Australia. European Journal of Agronomy. 2026. V. 173. Art. 127909.

15. Praeploy Kongsurakan et al. Yield dynamics of major crops in Thailand for the period 1918-2023: Regional patterns of growth, stagnation, and climate sensitivity. Field Crops Research. 2025. V. 333. Art. 110094.

16. Neverov A. A., Abdrashitov R. R. Trends in regional climate change and field crop productivity in Orenburg steppe region of Russia. International Conference on World Technological Trends in Agrobusiness. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. https://conf.domnit.ru/ru/materialy/agritech-2021/

Информация об авторах
Неверов Александр Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460051, г. Оренбург, проспект Гагарина, 27/1), ORCID - 0000-0001-5467-2476, e-mail: nevalex2008@yandex.ru
Author's information
Neverov Aleksandr Alekseevich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Federal Research Centre for Biological Systems and Agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 460051, Orenburg, Gagarin Ave., 27/1), ORCID - 0000-0001-5467-2476, e-mail: nevalex2008@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-22

THE AGRICULTURAL AND ECOLOGICAL ASSESSMENT AND THE PRODUCTIVITY OF THE VARIOUS FORMS OF *AGROPYRON* SPECIES AS PHYTOMELIORANTS IN THE SOUTHERN RUSSIA ARID ZONE

Turko S. Yu., Rybashlykova L. P.

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

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

Received 03.12.2025 Submitted 21.04.2026

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 subarid zones of the Caspian Sea region".

Summary
A study was conducted on the agricultural and biological characteristics of narrow- and broad-headed wheatgrass (*Agropyron*) in different soil substrates. It was found that wheatgrass has significant potential for restoring degraded agrocenoses and pasture ecosystems in the arid zone. Long-term data indicate that narrow-headed wheatgrass (*Agropyron*) has a higher yield (3.23 t/ha) than broad-headed wheatgrass (2.64 t/ha). The peak of productivity occurs in the third or fourth year of development. Drought conditions reduce the yield of both forms to 1.6 t/ha on sandy loam soils and 1.3 t/ha on saline soils. In wetter years, the yield increases to 2.9 t/ha and 2.1 t/ha, respectively. Timely mowing of the wheatgrass stands ensures the production of hay with a high nitrogen content (6.75-6.78 %).

Abstract
Introduction. *Agropyron* are widely used for restoring the vegetation cover of degraded pastures and hayfields in arid zones. They have a high preservation rate, stabilize the soil cover, and are a high-quality source of fodder. To address current environmental challenges and improve the efficiency of growing species of the genus, new approaches are being considered, and practical recommendations are being proposed for improving its forms in the future, based on the analysis of ecological, botanical, geographical, and biological data. The study focused on the broad- and narrow-needle species of the genus Agropyron. **Materials and methods.** The study of perennial forage plants was carried out over a 7-year period (2019-2025) on the vegetation sites of the hydrological complex of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences with a sandy substrate (a product of aeolian processing of light chestnut sandy loam soil) and on production sites with heavy loamy saline soils. The yield of grass stands was determined during the growing season by mowing on an area of 1 m^2, depending on the type of soil. The aim of this work was to cover the distribution, agroecology, comparative assessment of productivity of the main species of the genus Agropyron, and their use as phytomeliorants in the south of Russia. **Results and conclusions.** *Agropyron* is a valuable cereal that is indispensable for pastoral farming and land reclamation in arid zones. Its ability to spread rapidly and survive in extreme conditions makes it ideal for soil stabilization and providing a food source for both domestic and wild animals. When introduced into agricultural production, local species and cultivars of *Agropyron* are the most promising. Improving their cultivation methods in combination with environmentally oriented agronomic practices will lead to the creation of new varieties that can ensure long-term environmental and agricultural sustainability. Long-term studies have revealed a statistically significant superiority of narrow-spiked forms of *Agropyron* in terms of yield (3.23 t/ha) compared to wide-spiked forms (2.64 t/ha). The peak of productivity occurs in the third and fourth years of ontogenesis. A lack of moisture leads to a decrease in the yield of both forms to 1.6 t/ha on sandy loam soils and 1.3 t/ha on saline soils. Under sufficient moisture conditions, the yield increased to 2.9 t/ha and 2.1 t/ha, respectively.

Keywords: *arid zones, fodder grasses, yield of fodder grasses, cultivation of fodder grasses, ameliorative plants, and restoration of pastures.*

Citation. Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. The agricultural and ecological assessment and the productivity of the various forms of *Agropyron* species as phytomeliorants in the southern Russia arid zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 200-209 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-22.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*181:633.2

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ПРОДУКТИВНОСТЬ ВИДОВ РОДА *AGROPYRON* РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ КАК ФИТОМЕЛИОРАНТОВ В ЗАСУШЛИВОЙ ЗОНЕ ЮГА РОССИИ

Турко С. Ю., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Рыбашлыкова Л. П., *кандидат сельскохозяйственных наук*

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. Виды рода *Agropyron* широко используются для восстановления растительного покрова деградированных пастбищ и сенокосов засушливых зон, *обладают высокой сохранностью, обеспечивают стабилизацию почвенного покрова*, являются качественным источником корма. Для решения современных экологических проблем и повышения эффективности выращивания видов рода рассмотрены новые подходы и предложены практические рекомендации для улучшения их форм в будущем, основанные на анализе экологических, ботанико-географических и биологических данных. **Объектами исследования** являлись виды рода *Agropyron* ширококолосой и узкококолосой форм. **Материалы и методы.** Изучение многолетних кормовых растений проводилось за 7-летний период (2019-2025 гг.) на вегетационных площадках гидрологического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН с песчаным субстратом (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) и на производственных участках с тяжелосуглинистыми солонцеватыми почвами. Урожайность травостоев определяли в течение вегетационного периода путем скашивания на площади 1 м^2, в зависимости от типа почвы. Целью работы являлось освещение вопросов распространения, агроэкологии, сравнительной оценки продуктивности основных видов рода *Agropyron* и применения их в качестве фитомелиорантов на юге России**. Результаты и выводы.** *Agropyron* – это ценные злаки, незаменимые для пастбищного животноводства и земель в засушливых зонах. Их способность быстро распространяться и выживать в экстремальных условиях делает их идеальными для укрепления почвы и обеспечения кормовой базы, как для домашних, так и для диких животных. При внедрении в сельскохозяйственное производство наиболее перспективными являются местные виды и сорта *Agropyron*. Совершенствование методов их возделывания в сочетании с экологически ориентированными агрономическими практиками приведёт к созданию новых сортов, способных обеспечить долгосрочную экологическую и сельскохозяйственную устойчивость. Многолетние исследования выявили статистически значимое превосходство узкоколосых форм *Agropyron* по показателю урожайности (3,23 т/га) в сравнении с ширококолосыми (2,64 т/га). Пик продуктивности приходится на 3-4 годы онтогенеза. Дефицит влаги приводит к снижению урожайности обеих форм до 1,6 т/га на супесчаных и 1,3 т/га на солонцеватых почвах. В условиях достаточного увлажнения наблюдается увеличение урожайности до 2,9 т/га и 2,1 т/га, соответственно.

Ключевые слова: *засушливые зоны, кормовые травы, урожайность кормовых трав, возделывание кормовых трав, растения-мелиоранты, восстановление пастбищ.*

Цитирование. Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П. Агроэкологическая оценка и продуктивность видов рода *Agropyron* различных форм как фитомелиорантов в засушливой зоне юга России. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 200-209. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-22.
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 прогрессирующей тенденции аридизации мирового климата все острее встает проблема повышения и стабилизации высокой продуктивности пастбищных экосистем [1, 2]. Доступным источником дешевого растительного корма являются многолетние травы [3, 4]. В засушливых климатических условиях эффективными при выращивании являются многолетние травы семейства Poáceae, в том числе виды рода Agropyron, которые хорошо отрастают и обладают высоким потенциалом для производства кормов [5, 6, 7]. Они устойчивы к крайне стрессовым условиям возделывания [8, 9]. Растения являются важными видами для улучшения деградированных лугов и песков [10, 11, 12]. Выступают средством сохранения плодородия почвы при интенсивном земледелии, а также

служат средством противодействия деградации биологических, водно-физических и агрохимических свойств почв, ее осушения и эрозии [13]. Agropyron используется при коренном и поверхностном улучшении пастбищ. Виды Agropyron перспективны в поликомпонентных посевах с травами Fabaceae при использовании на сено [14]. Род Agropyron принадлежит к числу перекрестноопыляемых растений. Пыльца переносится ветром. Поэтому в результате постоянного и беспорядочного перекрестного опыления продолжает возникать разнообразие форм. Экспериментальное изучение различных форм в изолированных условиях показало, что их репродуктивные потомки характеризуются нестабильностью и подвержены дивергентной эволюции, порождая множество новых фенотипов. Биологические особенности форм Agropyron сильно варьируются. Отличия наблюдаются в общей и семенной урожайности, отрастании после скашивания, скороспелости, засухоустойчивости, восприимчивости к грибковым заболеваниям, полегаемости и других признаках.

Таким образом, разнообразие естественных форм сводится к двум основным формам: ширококолосой (A. cristatum, A. pectinatum) и узкоколосой (A. fragile, A. desertorum). Но существуют многочисленные вариации в виде крайних или промежуточных уклонений от основных форм, с различной организацией их, со множеством оттенков в окраске листвы, колоса и стеблей [15, 16].

Материалы и методы. Исследования проводились в 2019-2025 гг. Объектами исследования являлись виды рода *Agropyron* ширококолосой и узкоколосой форм. Изучение многолетних кормовых растений проводилось за 7-летний период на вегетационных площадках гидрологического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН с песчаным субстратом (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) (участок А – 48°65' с.ш., 44°44' в.д.) и на производственных участках с тяжелосуглинистыми солонцеватыми почвами (участок В – 48°18' с.ш., 44°59' в.д.) (рисунок 1). Общая площадь экспериментальной вегетационной площадки составляет 6,12 м^2, посев рядовой с междурядьем – 15 см при ручной технике посева. Глубина заделки семян 1-6 см при норме высева 10-12 кг на 1 га. Урожайность травостоя в зависимости от типа почв определяли укосным способом на делянках размером 1 м^2 в трехкратной повторности методом конверта.

Рисунок 1 – Карта-схема расположения объектов исследования.
Figure 1 – Map of the research

Примечание: участок А – широта 48°65' с.ш., долгота 44°44' в.д., посевы Agropyron на песчаном субстрате (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы); участок В – широта 48°18' с.ш., долгота 44°59' в.д.), посевы Agropyron на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах.
Note: Site A is located at 48°65' north latitude, 44°44' east longitude, crops are grown on a sandy substrate (a product of Aeolian processing of light chestnut sandy loam soil); site B is located at 48°18' north latitude, 44°59' east longitude.), crops are grown on heavy soils, loamy saline soils.

Анализ погодно-климатических условий проводился по данным метеостанции г. Волгоград (**«Волгоград аэропорт»,** индекс ВМО: 34560. Широта 48°46'с.ш., долгота 44°22' в.д.). Коэффициент водообеспеченности местности был рассчитан следующим образом: K = 10A / Σ B>10°, где A – сумма осадков за период; B – произведение среднемесячной температуры на количество дней периода: при K= 0,5 – сухо; 0,5-1,0 – засушливо; 1,0-1,5 – влажно. Статистическая обработка полученных данных проводилась методом дисперсии, а корреляционный анализ проводился по Доспехову Б. А. (1985) с помощью программ Microsoft Excel 2019.

Результаты и обсуждение. Житняк – типично степное растение – широко варьирует в своих разновидностях и формах как морфологически, так и биологически. В условиях Прикаспия и на вегетационных площадках гидрологического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН установлены сроки прохождения фаз развития ширококолосой (*Agropyron cristatum* (L.) Gaertn) и узкоколосой (*Agropyron fragile* (Roth) *P. Candargy*) форм видов рода *Agropyron.* Начало фазы появления всходов (1-5 апреля) обусловливается своевременностью посева, влажностью почвы и глубиной заделки семян. Посев в сухую почву не дает всходов до первых дождей. Иногда семена лежат до самой осени. При посеве во влажную почву и при заделке семян не глубже 1 см, всходы появляются через 8-10 дней. Разница во времени появления всходов у ширококолосых и узкококолосых форм *Agropyron* незначительная.

При засушливом весеннем периоде 2019 года (за апрель-май осадков выпадало 43 мм, что на 40% меньше нормы) на формирование урожая житняка благоприятное влияние оказали осадки июня (49 мм). Урожайность житняка широколосой формы составила в среднем 2,3 т/га, для житняка узкоколосого – 2,7 т/га.

В 2020-2021 гг. агрометеорологические условия для формирования урожая житняка были удовлетворительными (гидротермический коэффициент 0,63 и 0,55 соответственно). Средняя урожайность *Agropyron* узкоколосой и ширококолосой форм составила 2,9 т/га на песчаном субстрате и 2,1 т/га на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах (рисунок 2).

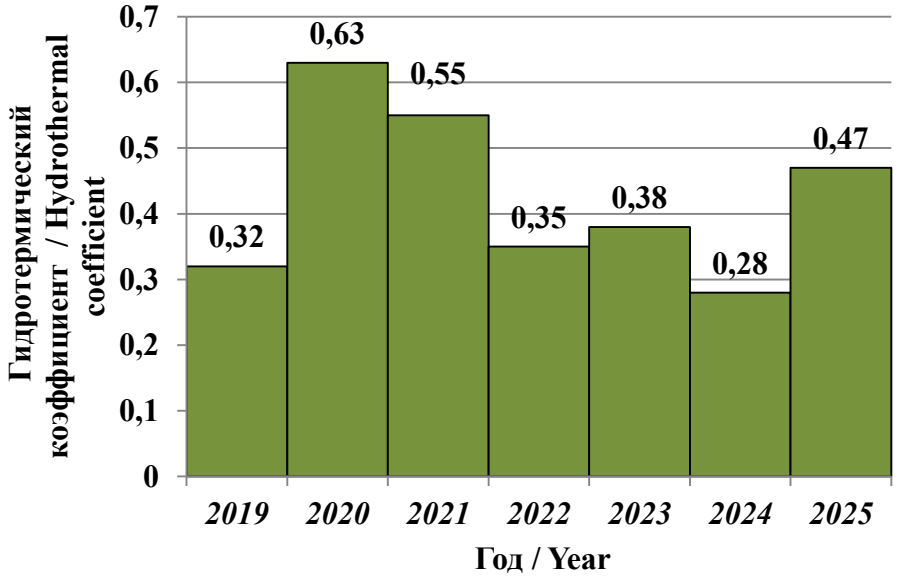


Рисунок 2 – Гидротермический коэффициент за годы исследований
Figure 2 – Hydrothermal coefficient over the years of research

В засушливые 2022-2024 годы средняя урожайность узкоколосой и ширококолосой форм *Agropyron* на песчаном субстрате (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) составила 1,6 т/га, на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах – 1,3 т/га. Начало вегетационного периода 2025 года оказалось весьма благоприятным. На высокую облиственность и продуктивность зеленой массы влияние оказали осадки весеннего и летнего периодов (за апрель – июль выпало 134 мм, выше многолетней нормы на 11 %) (таблица 1). Урожайность житняка в 2025 году в среднем составила 2,0 т/га.

Таблица 1 – Погодные условия за 2019-2025 годы исследования
Table 1 – Weather conditions for the 2019-2025 research period

Показатели / Indicators	Год / Year	Апрель / April	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August
Температура воздуха, (°C) / Air temperature (°C)	2019	10,3	18,3	26,4	26,3	25,7
	2020	8,5	15,2	24,5	27,2	22,6
	2021	10,7	19,0	23,7	28,0	27,1
	2022	13,1	14,2	23,7	24,1	27,6
	2023	11,1	16,7	21,3	24,2	25,4
	2024	14,4	15,7	23,7	25,6	22,6
	2025	12,7	18,0	21,4	26,5	22,6
	± отклонение от среднего / deviations from the average value +/–	+1,4	-1,5	+0,2	+0,1	-1,5
Количество осадков, мм / The amount of precipitation, (mm)	2019	15	28	49	23	4
	2020	17	122	26	7	8
	2021	49	42	47	24	11
	2022	10	59	2	24	15
	2023	37	22	49	1	2
	2024	9	0	58	18	3
	2025	31	27	27	49	8
	± отклонение от среднего / deviations from the average value +/–	-1,2	-4,2	+13,3	-4,6	-4,3

Начало весеннего отрастания у обоих типов растений происходит почти синхронно, ориентировочно 6-7 апреля. Первоначально, сразу после таяния снега, более интенсивный рост демонстрируют ширококолосые формы по сравнению с узкоколосыми. Однако, примерно через неделю, узкоколосые формы набирают темп и начинают расти быстрее. В благоприятных условиях (средние или влажные годы) они могут достигать 80-90 см, тогда как в засушливые годы их рост замедляется. В целом, весеннее отрастание *Agropyron* чаще всего наблюдается в первой декаде апреля (1-10 апреля), хотя возможны отклонения с конца марта до середины апреля. Фаза колошения почти совпадает у обеих форм. Только в сухие годы более раннее колошение (вторая декада мая) наблюдается у ширококолосых форм, а у узкоколосых форм на 5 суток позднее. Во влажные годы наблюдается наибольшее расхождение сроков начала колошения. Время колошения зависит от почвы, возраста и густоты травостоя. Ширококолосые формы *Agropyron* колосятся дружнее. В первый год жизни начало колошения запаздывает на 3-4 недели. Узкоколосые формы начинают колоситься на неделю позже. Обычно колошение наблюдается со II декады и до конца мая у ширококолосых форм и на 3-7 дней позже у узкоколосых. При редком травостое запаздывание колошения у узкоколосых *Agropyron* на неделю можно считать обычным, что при местных засухах имеет довольно важное значение. Продолжается колошение 1-2 недели.

Фаза цветения обычно начинается во второй половине июня и продолжается 5-10 дней, а при редком травостое до 15-18 дней. В сухие годы виды цветут одновременно. Во влажные годы цветение *Agropyron* узкоколосой формы запаздывает на 2-6 дней. В первый год жизни ширококолосые формы *Agropyron* начинают цвести в период с 7 по 20 июля, в последующие годы – в III декаде июня. Чем реже посевы, тем продолжительнее период цветения. Цветение начинается с нижних цветов колоса, захватывая на редких посевах по одной или две пары колосков в день. Чем гуще и старше посевы, тем мельче колос и короче период цветения. Продолжительность фазы цветения также зависит от погоды и господствующих ветров. Сырая холодная или слишком сухая и ветреная погода действует неблагоприятно на созревание пыльцы и замедляет цветение. Задерживающим фактором являются горячие юго-восточные ветры.

Фаза созревания семян у ширококолосых и узкоколосых форм наблюдается почти одновременно (или на 1-2 дня позже у узкоколосых). Наибольшее расхождение в фазах развития отмечается во время колошения. Цветение значительно сближается. Во влажные годы или при редком травостое установлено наибольшее расхождение во времени созревания: узкоколосые формы *Agropyron* запаздывают в среднем дня на три. Созревает *Agropyron* в первой половине июля, с колебаниями от 6 до 25 июля, а по первому году – в начале августа или в первой половине его. Своевременно скошенный травостой *Agropyron* даёт хорошее сено. Содержание протеина в нем составляет 6,75-6,78 %, таблица 2.

Таблица 2 – Питательность видов рода *Agropyron* различных форм
Table 2 – Nutritional value of different forms of the genus *Agropyron*

Форма / Plant form	Кормовые единицы / Feed units	Сырой протеин, % / Crude protein, %	Клетчатка, % / Fiber, %
Ширококолосая / Broad-leaved form	0,39	6,78	38,7
Узкоколосая / Narrow-leaved form	0,37	6,75	39,9

Agropyron демонстрирует более высокое содержание протеина по сравнению со многими другими степными злаками, такими как *Leymus ramosus* (1,21-2,24 %), *Elytrigia repens* (1,18-1,76 %) и *Stipa pennata* (1,52 %). Однако в отношении жира, азотистых веществ и белков, он уступает *Bromus inermis*. Важно отметить высокую переваримость сена и соломы *Agropyron* (таблица 3). На основании сравнения с данными Кельнера, можно сделать вывод, что сено *Agropyron* по питательности не уступает хорошему луговому сену, а его солома превосходит по переваримости плохое луговое сено и солому яровых злаков, что делает *Agropyron* ценным кормовым растением.

Таблица 3 – Коэффициенты переваримости трав рода *Agropyron*
Table 3 – Digestibility coefficients of herbs of the genus *Agropyron*

Название вещества / Substance name	Сено / Hay	Солома / Straw
Сырой протеин / Crude protein	63,87	48,38
Белок / Protein	60,86	47,62
Безазотистые экстрактивные вещества / Non-nitrogenous extractive substances	64,42	56,91
Сырая клетчатка / Raw fiber	54,42	42,88
Сырой жир / Raw fat	36,76	44,34
Зола / Ash	37,41	31,24

Засухоустойчивость, урожайность и продуктивная долговечность ширококолосых и узкоколосых форм *Agropyron.*

В условиях благоприятной погоды наблюдается превосходство узкоколосых форм *Agropyron* в урожайности над ширококолосыми. В засушливые годы происходит выравнивание урожайности между этими формами, либо даже снижение урожая у узкоколосых. Средние показатели урожайности за многолетний период свидетельствуют о более высокой продуктивности узкоколосых форм *Agropyron*.

Данные о средних урожаях надземной фитомассы видов *Agropyron* за период 2019-2025 гг., полученные в ходе стационарных наблюдений на вегетационных площадках гидрологического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН, расположенных на песчаном субстрате (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) и на светло-каштановых тяжелосуглинистых солонцеватых почвах (таблица 4), демонстрируют, что узкоколосая морфологическая форма всех возрастных групп обеспечивает более высокий урожай по сравнению с ширококолосой. Обе формы рода наиболее продуктивны на 3 и 4 год развития, урожайность ширококолосых форм *Agropyron* в среднем составляет 2,64 т/га, узкоколосых – 3,25 т/га.

Семенная урожайность узкоколосой формы *Agropyron* обычно выше ширококолосой, несмотря на ее большую отзывчивость на влагу и большую изменчивость этой продуктивности.

Таблица 4 – Урожайность фитомассы видов рода *Agropyron* различных форм, т/га
Table 4 – Yield of phytomass of species of the genus *Agropyron* of various forms, t/ha

Форма / Plant form	Год / Year							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	среднее / average
	урожайность, т/га / yield, t/ha							
песчаный субстрат (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) / sandy substrate (product of Aeolian processing of light chestnut sandy loam soil)								
Ширококолосая / Broad-leaved form	2,65	2,72	2,56	2,01	1,48	1,21	2,11	2,11
Узкоколосая / Narrow-leaved form	2,95	3,43	3,07	2,31	1,51	1,25	2,32	2,41
тяжелосуглинистые солонцеватые почвы / heavy loamy saline soils								
Ширококолосая / Broad-leaved form	1,95	1,79	2,18	1,35	1,26	1,11	1,84	1,64
Узкоколосая / Narrow-leaved form	2,35	2,09	2,20	1,41	1,28	1,14	2,06	1,79

В среднем за 7 лет семенная урожайность *Agropyron* ширококолосой формы составила 0,25 т/га (0,04-0,64 т/га), *Agropyron* узкоколосой формы 0,37 т/га (0,03-0,9 т/га). Только в самые сухие годы узкоколосая форма *Agropyron* производила меньше семян (0,03-0,04 т/га) по сравнению с ширококолосой (0,04-0,10 т/га).

При выращивании как общая, так и семенная урожайность узкоколосой формы *Agropyron* превысила урожайность ширококолосой в 1,2 раза. Если ограничиться наиболее продуктивными первыми годами (2, 3 и 4), то эта разница будет еще больше. Доля семян в общем урожае *Agropyron* как у ширококолосой, так и узкоколосой формы примерно одинакова и составляет 24,1-24,2 %, таблица 5. *Agropyron* не выпадает из культуры на протяжении 10-20 лет. Но урожайность его начинает постепенно падать, начиная с 3 года жизни. Во влажные годы даже старые посевы *Agropyron* дают хорошие урожаи.

Таблица 5 – Сравнительная характеристика урожайности видов *Agropyron* различных форм на песчаном субстрате (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) в среднем за 7 лет
Table 5 – Comparative characteristics of the yield of *Agropyron* species of various forms on a sandy substrate (product of aeolian processing of light chestnut sandy loam soil) over an average of 7 years

Показатели / Indicators	Форма / plant shape	
	Узкоколосая / Narrow-leaved form	Ширококолосая / Broad-leaved form
Урожайность фитомассы, т/га / Yield of phytomass, t/ha	2,41	2,11
Урожайность семян, т/га / Seed yield, t/ha	0,37	0,25
Доля семян в общем урожае, % / Share of seeds in the total yield, %	24,1	24,2

Агротехнологические приемы фитомелиоративной реконструкции деградированных пастбищ и сенокосов с помощью видов *Agropyron.*

Agropyron хорошо растёт на разных типах почв, но для успешного возделывания необходима их тщательная подготовка. От этого зависит равномерность заделки семян, равномерность травостоя. *Agropyron* не переносит глубокой и грубой заделки.

Под весенний посев вспашку нужно производить осенью на 15-20 см. Глубокая осенняя вспашка способствует лучшему проникновению воздуха, и влаги в глубокие почвенные слои, следовательно, и большему накоплению питательных веществ.

Предпосевным и послепосевным прикатыванием почвы гладкими катками достигается более равномерный посев, скорое и дружное появление всходов.

Весенние посевы *Agropyron* удаются хуже осенних. Нежные всходы *Agropyron* во множестве погибают от обычной весенней корки, а попав зачастую в совершенно сухую почву, семена не прорастают до первых дождей или даже до осени, если к тому времени вследствие перемен во влажности почвы они совсем не погибнут.

Осенний посев должен быть ранним или очень поздним, под снег. В первом случае всходы успевают вполне окрепнуть и лучше переносят зиму. Во втором случае семена не успевают прорасти до зимы, а весной, пользуясь влагой, дружно прорастают и быстро идут в рост. Лучше всего удаются осенние посевы.

Глубокой заделки *Agropyron* не переносит. Всходы его с трудом пробиваются на поверхность, а при образовавшейся корке весной почти все остаются в земле. Опыты с глубиной заделки семян на вегетационных площадках гидрологического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН показали, что наилучшие результаты при достаточном увлажнении дает заделка на 1 см, когда доля взошедших семян, от общего числа высеянных, достигает 82-85 %. Затем идет заделка на глубину 2 см, когда доля взошедших семян, от общего числа высеянных, достигает 69-75 %. При посеве семян на глубину 3 см доля взошедших семян составила 28-32 %. Поверхностная заделка дала 31-41 % взошедших семян. При заделке семян на глубину 5 см доля взошедших семян не превысила 13-14 %, а заделка на 6 см совсем не дала всходов. Таким образом, оптимальной глубиной заделки семян для *Agropyron* на песчаном субстрате (продукт эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) является глубина 1-2 см (таблица 6).

Таблица 6 – Доля взошедших семян видов *Agropyron* различных форм, %
Table 6 – Percentage of seeds germinated by *Agropyron* species, %

Форма / Plant form	Глубина заделки семян, см / Seed embedding depth, cm						
	0	1	2	3	4	5	6
Ширококолосая / Broad-leaved form	41	85	75	28	17	13	0
Узкоколосая / Narrow-leaved form	31	82	69	32	11	14	0

В засушливых условиях большое значение имеет оптимальная густота посева *Agropyron*. Обычны нормы высева 10-12 кг семян на 1 га. Как правило, Agropyron используют как одноукосную культуру, однако при достаточном увлажнении и разреженном травостое возможно получение двух укосов.

Эксплуатация посевов видов рода *Agropyron* в качестве пастбищных угодий рекомендуется начиная со второго-третьего года вегетации, что обусловлено необходимостью завершения формирования корневой системы и обеспечения устойчивости растений к пастбищной нагрузке. Наиболее целесообразно вовлечение в пастбищеоборот 4-5-летних посевов, которые используются в течение двух лет с последующей распашкой в системе севооборота. При таком режиме хозяйственного использования, благодаря постепенному стравливанию, снижается непродуктивный расход почвенной влаги по сравнению с сенокосным вариантом, что способствует сохранению более высокого запаса продуктивной влаги в почве перед основной обработкой.

Заключение. Представители рода *Agropyron* являются критически важными компонентами для развития пастбищного хозяйства и восстановления почвенного плодородия в аридных зонах. Их высокая адаптивность к стрессовым условиям и способность к быстрому вегетативному размножению обеспечивают стабилизацию почвенного покрова и служат основой кормовой базы для сельскохозяйственных животных и дикой фауны. При интродукции в культуру приоритет отдаётся аборигенным видам и сортам *Agropyron*. Интеграция усовершенствованных агротехнических приёмов с экологическими и агрономическими стратегиями восстановления растительности позволит разработать новые сорта, отвечающие требованиям экологической и сельскохозяйственной устойчивости.

Многолетние наблюдения показывают, что узкоколосые формы *Agropyron* демонстрируют более высокую урожайность по сравнению с ширококолосыми. Пик продуктивности обеих форм приходится на 3-4 годы развития. В среднем урожайность ширококолосых форм составляет 2,64 т/га, в то время как узкоколосые дают 3,23 т/га. В засушливые годы урожайность обеих форм снижается: на песчаном субстрате (продукте эоловой переработки светло-каштановой супесчаной почвы) она составляет 1,6 т/га, а на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах – 1,3 т/га. В более влажные годы урожайность возрастает до 2,9 т/га на песчаном субстрате и 2,1 т/га на тяжелосуглинистых солонцеватых почвах.

Conclusions. Representatives of the genus Agropyron are critical components for the development of pastoral farming and the restoration of soil fertility in arid zones. Their high adaptability to stressful conditions and their ability to reproduce rapidly vegetatively ensure the stabilization of the soil cover and serve as the basis for the fodder base for agricultural animals and wild fauna. When introduced into culture, priority is given to native species and varieties of Agropyron. The integration of advanced agricultural techniques with ecological and agronomic strategies for vegetation restoration will allow the development of new varieties that meet the requirements of environmental and agricultural sustainability.

Long-term observations show that narrow-spiked forms (Agropyron) have a higher yield compared to wide-spiked forms. Both forms reach their peak productivity in the third or fourth year of development. On average, wide-spiked forms yield 2.64 tons per hectare, while narrow-spiked forms yield 3.23 tons per hectare. In dry years, the yield of both forms decreases: it is 1.6 t/ha on light chestnut sandy loam soils and 1.3 t/ha on heavy loamy saline soils. In wetter years, the yield increases to 2.9 t/ha and 2.1 t/ha for narrow- and broad-headed forms, respectively.

Библиографический список

1. Lazareva V. G., Bananova V. A., Van Zung N. Dynamics of Modern Vegetation for Pasture Use in the Northwestern Pre-Caspian Region. Arid Ecosystems. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 276-283.

2. Radochinskaya L. P., Kladiev A. K., Rybashlykova L. P. Production Potential of Restored Pastures of the Northwestern Caspian. Arid Ecosystems. 2019. Vol. 9. No. 1. Pp. 51-58.

3. Кутузова А. А., Шпаков А. С., Косолапов В. М. и др. Состояние и перспективы развития кормопроизводства в Нечернозёмной зоне РФ. Кормопроизводство. 2021. № 2. С. 3-9.

4. Власенко М. В., Кулик А. К. Флористическое разнообразие сообществ полынно-злаковой степи Калачевско-Голубинского песчаного массива Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1 (65). С. 99-111.

5. Власенко М. В., Трубакова К. Ю. Водный режим видов семейства Poaceae в условиях засухи. Аграрный вестник Урала. 2019. № 11 (190). С. 2-8.

6. Буянкин В. И., Назарова М. В. Роль многолетних трав в повышении продуктивности агроландшафтов полупустынной зоны Прикаспия. Кормопроизводство. 2021. № 5. С. 3-7.

7. Булахтина Г. К., Кудряшов А. В., Кудряшова Н. И. Влияние срока и способа посева житняка на продуктивность восстановленных пастбищ в аридном регионе Прикаспия. Известия Горского государственного аграрного университета. 2018. Т. 55. № 2. С. 13-18.

8. Кравцов В. В., Капустин А. С. Стрессоустойчивые сорта *Agropyron elongatum* (пырея удлинённого). Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 122-124.

9. Федотова А. В., Яковлева Л. В., Хасанова А. Х. и др. Изучение влияния факторов опустынивания на всхожесть семян пырея удлинённого (*Agropyron elongate*) и житняка (*Agropyron*). Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 30-38.

10. 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.

11. Манаенков А. С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, 2018. 428 с.

12. Воронина В. П., Рулева О. В. Фитоценотическая структура и продуктивность злаковых ассоциаций в агроландшафтах. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 57-64.

13. Лукин С. В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценозов (на примере Белгородской области). Земледелие. 2021. № 1. С. 11-15.

14. Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П. Урожайность *Agropyron* в зависимости от погодных условий, сортов и способов посева на юге европейской территории России. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 153-161.

15. Мельников Д. Г., Королюк А. Ю., Лактионов А. П. Новый вид *Agropyron* (Poaceae) из Южной Сибири и Восточного Казахстана. Новости систематики высших растений. 2024. № 55. С. 5-10.

16. Afkar S. Variation of yield and morphological traits in several Iranian populations of Agropyron pectiniforme. 2018.

References

1. Lazareva V. G., Bananova V. A., Van Zung N. Dynamics of Modern Vegetation for Pasture Use in the Northwestern Pre-Caspian Region. Arid Ecosystems. 2020. Vol. 10. No. 4. Pp. 276-283.

2. Radochinskaya L. P., Kladiev A. K., Rybashlykova L. P. Production Potential of Restored Pastures of the Northwestern Caspian. Arid Ecosystems. 2019. Vol. 9. No. 1. Pp. 51-58.

3. Kutuzova A. A., Shpakov A. S., Kosolapov V. M., et al. The state and prospects of development of fodder production in the Non-Black colored soils zone of the Russian Federation. Fodder production. 2021. No. 2. Pp. 3-9.

4. Vlasenko M. V., Kulik A. K. Floristic diversity of the wormwood-cereal steppe communities of the Kalachevsko-Golubinsky sandy massif of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No. 1 (65). Pp. 99-111.

5. Vlasenko M. V., Trubakova K. Yu. Water regime of species of the *Poaceae* family in conditions of drought. Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 11 (190). Pp. 2-8.

6. 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. Fodder Production. 2021. No. 5. Pp. 3-7.

7. Bulakhtina G. K., Kudryashov A. V., Kudryashova N. I. Influence of the sowing time and method of wheatgrass on the productivity of restored pastures in the arid region of the Caspian Sea. Proceedings of the Gorsky State Agrarian University. 2018. Vol. 55. No. 2. Pp. 13-18.

8. Kravtsov V. V., Kapustin A. S. Stress-resistant varieties of Agropyron elongatum (long-stem wheatgrass). Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2019. No. 5 (79). Pp. 122-124.
9. Fedotova A. V., Yakovleva L. V., Khasanova A. Kh., et al. Study of the effect of desertification factors on the germination of elongated wheatgrass (Agropyron elongate) and couch grass (Agropyron). Scientific and Agronomic Journal. 2022. No. 4 (119). Pp. 30-38.
10. Buyankin V. I., Manaenkov A. S., Limanskaya V. B. Increasing the Productivity of Degraded Lands in the Arid Zone of Volgograd. Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2019. 156 p.
11. Manayenkov A. S. Forest melioration of Arenas in the Arid Zone. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2018. 428 p.
12. Voronina V. P., Ruleva O. V. Phytocenotic Structure and Productivity of Cereal Associations in Agro-Landscapes. Proceedings of the Nizhny Novgorod Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No. 4 (52). Pp. 57-64.
13. Lukin S. V. Influence of the biologization of agriculture on soil fertility and productivity of agrocenoses (on the example of the Belgorod region). Agriculture. 2021. No. 1. Pp. 11-15.
14. Turko S. Yu., Rybashlykova L. P. Yield of Agropyron depending on weather conditions, varieties and sowing methods in the south of the European territory of Russia. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No. 2 (66). Pp. 153-161.
15. Melnikov D. G., Korolyuk A. Yu., Laktionov A. P. The New Species of Agropyron (Poaceae) from Southern Siberia and Eastern Kazakhstan. News of the Systematics of Higher Plants. 2024. No. 55. Pp. 5-10.
16. Afkar S. Variation of yield and morphological traits in several Iranian populations of Agropyron pectiniforme. 2018.

Информация об авторах
Турко Светлана Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, 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, Research Fellow, Federal Research Center for Agroecology 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 Lyudmila Petrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3675-6243, e-mail: rybashlykova-l@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-23

THE EXERGETIC ANALYSIS OF THE POTATO PRODUCTION WITH THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX WASTE USAGE

[1]Fakhreev N. N., [2]Ziganshin B. G., [1]Shageev M. F.

[1]Kazan State Power Engineering University
[2]Kazan State Agrarian University
Kazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: fakhreevnn@yandex.ru

Received 16.02.2026 Submitted 24.24.2026

The work was carried out at the expense of a grant provided in 2025 by the Foundation for Science and Technology of the Republic of Tatarstan for the implementation of fundamental and applied scientific work in scientific and educational organizations, enterprises and organizations of the real sector of the economy of the Republic of Tatarstan on the topic: "Development of environmentally friendly technologies for the production of finished products based on solid and liquid energy waste and gas emissions" (Agreement 01.12.2025 No. 9).

Summary
The article highlights the results of field experiments on growing potatoes using ash after the thermal disposal of poultry manure. The field experiments showed high quantitative results. Exergetic analysis based on the second law of thermodynamics allowed for the evaluation of both the quantity and quality of resources, making it a promising tool for comparing agricultural technologies. In the context of import substitution, the search for alternatives to synthetic fertilizers, including the use of secondary resources such as agricultural waste, becomes particularly important.

Abstract
Introduction. The introduction of the best engineering and organizational solutions in potato growing is focused on solving the priority goals of the "State Program for the development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food markets" approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated July 14, 2012 No. 717 and the Federal Program "Development of vegetable and potato growing industries" in terms of the development of crop production with the introduction of innovative

technologies. Increasing the energy efficiency of agricultural production is a key factor in ensuring food security and the transition to sustainable development of the agro-industrial complex. Exergetic analysis, based on the second law of thermodynamics, makes it possible to assess not only the quantity but also the quality of energy resources, which makes it a promising tool for the comparative assessment of agricultural technologies. Universal NPK fertilizers require significant resources and raw materials, including imported ones, and in the context of import substitution, the search for alternatives is of particular importance. The use of animal husbandry waste as a raw material for fertilizer production is considered as a promising area in agriculture. **Object.** The experiment included: potatoes of the "Surprise" variety and an installation for the thermal disposal of waste from the agro-industrial complex (patent No. 2754911 dated 09.09.2021). **Materials and methods.** A field experiment was conducted in 2025 at the experimental field of the Kazan State Agrarian University. The agricultural fields of the region are mostly dominated by gray forest soils. The planting rate was 2.8 t/ha. Experimental options: D1 – without fertilizers; D2 – ash after thermal waste disposal; D3 – NPK fertilizer. The exergetic analysis was performed using the method of accumulated exergy consumption (CExC) with the calculation of the indices of excellence (CDP) and renewability (RI). **Results and conclusions.** Potato yields were: D1 – 8.00 t/he, D2 – 10.53 t/he, D3 – 14.62 t/he. The nitrate content in all variants did not exceed the permissible limits (140.75 – 153.00 mg/kg). The exergetic efficiency (CDP) reached 7.79 when using ash versus 4.22 for NPK fertilizers, while the renewability index (RI) was higher for ash (0.97 versus 0.95). The use of ash after thermal waste disposal provides productivity comparable to mineral fertilizers with less dependence on non-renewable resources.

Keywords: *potato cultivation, exergy analysis, total exergy consumption, perfection index, renewability index, and sustainable agriculture.*

Citation. Fakhreev N. N., Ziganshin B. G., Shageev M. F. The exergetic analysis of the potato production with the agro-industrial complex waste usage. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 209-215 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-23.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 635.21:631.8:536.72

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТХОДОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

[1]**Фахреев Н. Н.,** *кандидат технических наук*
[2]**Зиганшин Б. Г.,** *доктор технических наук, профессор, профессор РАН*
[1]**Шагеев М. Ф.,** *кандидат технических наук, доцент*

[1]ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и прикладных научных работ в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан на тему: «Разработка экологически безопасных технологий для производства готовой продукции на основе твердых и жидких отходов энергетики, газовых выбросов» (Соглашение от 01.12.2025 №9).

Актуальность. Внедрение наилучших инженерных и организационных решений в картофелеводстве ориентируется на решение приоритетных целей «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» утвержденный Постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 года № 717 и Федеральной программы «Развитие отраслей овощеводства и картофелеводства» в части развития растениеводства с внедрением инновационных технологий. Повышение энергоэффективности сельскохозяйственного производства является ключевым фактором обеспечения продовольственной безопасности и перехода к устойчивому развитию агропромышленного комплекса. Эксергетический анализ, основанный на втором законе термодинамики, позволяет оценить не только количество, но и качество энергетических ресурсов, что делает его перспективным инструментом для сравнительной оценки агротехнологий. Универсальные NPK удобрения требуют значительных ресурсов и сырья, в том числе импортного и в условиях импортозамещения особую значимость приобретает поиск альтернатив. Использование отходов животноводства в качестве сырья для получения удобрений рассматривается как перспективное направление в сельском хозяйстве. **Объект.** Эксперимент включал в себя: картофель сорта «Сюрприз» и установку по термической утилизации отходов агропромышленного комплекса (патент № 2754911 от 09.09.2021). **Материалы и методы.** Полевой

эксперимент проведен в 2025 г. на опытном поле Казанского ГАУ. Сельскохозяйственные поля региона в основом преобладают серыми лесными почвами. Норма посадки составила 2,8 т/га. Варианты опыта: Д1 – без удобрений; Д2 – зола после термической утилизации отходов; Д3 – NPK удобрение. Эксергетический анализ выполнен по методу совокупного потребления эксергии (CExC) с расчётом индексов совершенства (CDP) и возобновляемости (RI). **Результаты и выводы.** Урожайность картофеля составила: Д1 – 8,00 т/га, Д2 – 10,53 т/га, Д3 – 14,62 т/га. Содержание нитратов во всех вариантах не превысило допустимых норм (140,75-153,00 мг/кг). Эксергетический КПД (CDP) достигал 7,79 при использовании золы против 4,22 для NPK удобрения, при этом индекс возобновляемости (RI) был выше для золы (0,97 против 0,95). Применение золы после термической утилизации отходов обеспечивает сопоставимую с минеральными удобрениями продуктивность при меньшей зависимости от невозобновляемых ресурсов.

Ключевые слова: *возделывание картофеля, эксергетический анализ, совокупное потребление эксергии, индекс совершенства, индекс возобновляемости, устойчивое сельское хозяйство.*

Цитирование. Фахреев Н. Н., Зиганшин Б. Г., Шагеев М. Ф. Эксергетический анализ производства картофеля при использовании отходов агропромышленного комплекса. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 209-215. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-23.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Законодательство, всесторонне поддерживающее современное сельское хозяйство сталкивается с необходимостью балансировать между ростом продуктивности и снижением экологической нагрузки [1, 2, 3]. Одним из перспективных подходов к оценке устойчивости агросистем является эксергетический анализ, позволяющий количественно оценить качество энергетических и материальных потоков на основе второго закона термодинамики [4, 5]. В отличие от традиционного энергетического баланса, эксергия учитывает не только количество энергии, но и её способность выполнять полезную работу в конкретных условиях окружающей среды [6].

Картофель занимает ведущее место среди овощных культур России по объёму производства и потребления. Однако интенсивные технологии его возделывания сопряжены с высоким потреблением невозобновляемых ресурсов, особенно синтетических удобрений и топлива для сельскохозяйственной техники. По данным [7], при выращивании сельскохозяйственной продукции до 60 % совокупной эксергии потребления приходится на минеральные удобрения и дизельное топливо. Аналогичная картина наблюдается и в картофелеводстве, где энергоёмкость производства может достигать 15-20 ГДж/т урожая [8].

В условиях высокой цены на удобрения и задач импортозамещения возрастает интерес к локальным источникам питательных элементов. Зола после термической утилизации многотоннажных отходов сельского хозяйства (отходов жизнедеятельности животных и птицы), содержит калий, фосфор, кальций и микроэлементы в легкоусвояемой форме, а также обладает известкующим действием на кислые почвы [9, 10]. Однако её влияние на термодинамическую эффективность агросистемы остаётся недостаточно изученным.

Цель исследования – провести сравнительную оценку эксергетической эффективности производства картофеля при использовании трёх вариантов минерального питания: без удобрений, с золой после термической утилизации и с комплексным NPK удобрением.

Материалы и методы. Полевой эксперимент проведен в весенне-летний период 2025 года на опытном поле Казанского государственного аграрного университета. Почвы участка в основном представлены серыми лесными среднесуглинистыми с pH 5,8-6,2 и содержанием гумуса 3,4 %. Рельеф участка ровный [11, 12, 13].

Объектом исследования служит среднеранний столовый сорт картофеля «Сюрприз», устойчивый к основным заболеваниям (фитофтороз, парша обыкновенная), представленный на рисунке 1. Норма посадки составила 2,8 т/га (клубни фракции 50-70 г).

Рисунок 1 – Посадочный материал
Figure 1 – Planting material

Схема опыта – однофакторная, три варианта в четырёхкратной повторности по методу случайных блоков. Экспериментальные делянки обозначены буквой «Д»:

Д1 (контроль) – без внесения удобрений;

Д2 – древесная зола (лиственные породы) 1,2 т/га;

Д3 – NPK удобрение (в пропорции: 16:16:16) 300 кг/га [14].

Удобрения вносились локально в рядки при посадке. Посев выполнен трактором МТЗ-82 в агрегате с картофелесажалкой УСМ-4Н. Уборка проведена двухрядной картофелекопалкой КТН-2В на том же тракторе. Результат представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Материальный баланс по потребления топлива, л/га
Table 1 – The material balance of fuel consumption, l/he

Технологическая операция / Technological operation	Д1 (контроль) / D1 (Control)	Д2 (зола) / D2 (ash)	Д3 (NPK удобрение) / D3 (NPK fertilizer)
Посев (МТЗ-82 + УСМ-4Н) / Sowing (MTZ-82 + USM-4N)	7,8	6,7	6,7
Уборка (МТЗ-82 + КТН-2В) / Harvesting (MTZ-82 + KTN-2V)	34,7	34,7	34,7
Итого / Total	42,5	41,4	41,4

Измерение химического состава золы, вносимой под картофель, проведено в лаборатории Казанского государственного энергетического университета. Состав золы, следующий: K_2O – 8,2 %, P_2O_5 – 2,4 %, CaO – 29,0 %, MgO – 3,1 %. Содержание нитратов в клубнях определяли экспресс-методом с использованием нитрат-тестера.

Эксергетический анализ выполнен по методологии совокупного потребления эксергии (Cumulative Exergy Consumption, CExC) [7]. Удельные коэффициенты эксергии для ресурсов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Удельные коэффициенты эксергии для расчёта CExC
Table 2 – Specific emission factors for CExC calculation

Ресурс / Resource	Единица измерения / Measurement unit	Удельная эксергия, МДж/кг (л) / Specific Emission, MJ/kg (l)
Дизельное топливо / Diesel fuel	л / l	53,2
Зола / Ash	кг / kg	5,33
NPK удобрение / NPK fertilizer	кг / kg	7,22
Посадочный картофель / Potatoes for planting	кг / kg	6,12
Урожай / Yield	кг / kg	6,12

Расчётная эксергия NPK удобрения определена как взвешенная сумма: 0,16·32,7 (азот) + 0,16·7,52 (фосфор) + 0,16·4,56 (калий) = 7,22 МДж/кг [7].

Совокупное потребление эксергии рассчитывали по формуле:

$$CExC = \sum(m_i \times ex_i) \quad (1)$$

где m_i – масса/объём *i*-го ресурса, ex_i – его удельная эксергия.

Индекс совершенства (Cumulative Degree of Perfection, CDP) определяли как отношение эксергии урожая к суммарной эксергии входных ресурсов:

$$CDP = \frac{E_{урожай}}{CExC_{техн}} \quad (2)$$

Индекс возобновляемости (Renewability Indicator, RI) рассчитывали по методу [15]:

$$RI = \frac{E_{урожай} - W_{невозобн}}{E_{урожай}} \quad (3)$$

где $W_{невозобн}$ – эксергия невозобновляемых ресурсов (дизтопливо, NPK удобрение); зола отнесена к возобновляемым ресурсам.

Результаты и обсуждение. Урожайность картофеля и содержание нитратов в клубнях представлены в таблице 3. Наибольший урожай получен в варианте с NPK удобрением (14,62 т/га), что на 82,7 % превышает контроль. Применение золы обеспечило прирост урожайности на 31,7 % (10,53 т/га), что подтверждает её агрохимическую эффективность. Содержание нитратов во всех вариантах не превысило предельно допустимого уровня в 250 мг/кг, что свидетельствует о безопасности продукции для потребления.

Таблица 3 – Урожайность и качество продукции картофеля, среднее за 2025 г.
Table 3 – Potato yield and quality, average for 2025

Вариант / Option	Урожайность, т/га / Yield, t/he	Прирост к контролю, % / Gain in control, %	Нитраты, мг/кг / Nitrates, mg/kg
Д1 (контроль) / D1 (Control)	8,00	–	153,00
Д2 (зола) / D2 (Ash)	10,53	+31,7	151,25
Д3 (NPK удобрение) / D3 (NPK fertilizer)	14,62	+82,7	140,75

Результаты эксергетического анализа представлены в таблице 4. Несмотря на меньшую урожайность по сравнению с NPK удобрением, вариант с золой продемонстрировал более высокий индекс возобновляемости (RI = 0,97 против 0,95), что связано с биогенным происхождением золы и её отнесением к возобновляемым ресурсам. Индекс совершенства (CDP) для варианта с NPK удобрением оказался выше (22,13 против 7,79), что объясняется значительно меньшей массой удобрения при сопоставимом агрохимическом эффекте.

Таблица 4 – Показатели эксергетического баланса производства картофеля
Table 4 – Indicators of the exergetic balance of potato production

Показатель / Indicator	Д1 (контроль) / D1 (Control)	Д2 (зола) / D2 (ash)	Д3 (NPK удобрение) / D3 (NPK fertilizer)
Эксергия посадочного материала, МДж/га / Seeding material exergy, MJ/he	17 136	17 136	17 136
Эксергия дизтоплива, МДж/га / Diesel fuel exergy, MJ/he	1 923	1 876	1 876
Эксергия удобрений, МДж/га / Fertilizer exergy, MJ/he	0	6 396	2 166
CExCтехн(без посадки), МДж/га / CExCtech (excluding seeding), MJ/he	1 923	8 272	4 042
Эксергия урожая, МДж/га / Crop exergy, MJ/he	48 960	64 462	89 468
CDP (Совокупная степень совершенства) / CDP (Cumulative Degree of Perfection)	25,46	7,79	22,13
RI	0,96	0,97	0,95

Сравнительный анализ с литературными источниками показывает, что полученные значения RI для картофеля (0,95-0,97) превышают аналогичные показатели для пшеницы (0,65-0,86) и рапса (до 0,73) [7, 16], что объясняется меньшей энергоёмкостью производства клубней по сравнению с зерном и масличными культурами.

Важным аспектом является экологическая безопасность применения золы. Несмотря на её щелочную реакцию, содержание нитратов в клубнях в варианте Д2 (151,25 мг/кг) практически не отличалось от контроля (153,00 мг/кг) и оставалось ниже норматива. Это позволяет рекомендовать золу как альтернативу синтетическим удобрениям в условиях органического и малоотходного земледелия.

Заключение. Применение золы после термической утилизации многотоннажных отходов агропромышленности в дозе 1,2 т/га обеспечивает прирост урожайности картофеля сорта «Сюрприз» на 31,7 % относительно контроля при сохранении качества продукции (содержание нитратов 151,25 мг/кг). Эксергетический анализ выявил преимущество золы по индексу возобновляемости (RI = 0,97), что свидетельствует о меньшей зависимости технологии от невозобновляемых ресурсов по сравнению с NPK удобрением (RI = 0,95). Несмотря на меньший индекс совершенства (CDP = 7,79 против 22,13 для NPK удобрения), зола представляет интерес как локальный вторичный ресурс, способствующий замыканию биогеохимических циклов и снижению углеродного следа агросистемы. Полученные результаты подтверждают потенциал интеграции золы в ресурсосберегающие технологии картофелеводства, особенно в районах с большим объемом образующихся отходов.

Conclusions. The use of ash after the thermal utilization of large-scale agricultural waste at a dose of 1.2 t/ha increases the yield of the Surprise potato variety by 31.7 % compared to the control, while maintaining the quality of the product (nitrate content of 151.25 mg/kg). The exergetic analysis revealed the advantage of ash in terms of the renewable index (RI = 0.97), indicating a lower dependence of the technology on non-renewable resources compared to NPK fertilizer (RI = 0.95). Despite the lower perfection index (CDP = 7.79 vs. 22.13 for NPK fertilizer), ash is of interest as a local secondary resource that contributes to closing biogeochemical cycles and reducing the carbon footprint of the agro-system. The results obtained confirm the potential of integrating ash into resource-saving potato technologies, especially in areas with a large volume of generated waste.

Библиографический список

1. Pereira B. de J., Scala Jr. Ne. La, Filho A. B. C. Cumulative Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions from Potato and Tomato Production in Southeast Brazil.
Agronomy. No 15 (1). V. 235. Pp. 1-13

2. Timpanaro G., Branca F., Cammarata M., Falcone G., Scuderi A. Life Cycle Assessment to Highlight the Environmental Burdens of Early Potato Production. Agronomy. 2021. No 11 (5). Art. 879.

3. Сибагатуллин Ф. С., Ганиев А. С., Халиуллина З. М., Гайфуллин И. Х. Влияние куриного помета на некоторые свойства почвы. Агрохимический вестник. 2024. № 3. С. 67-71.

4. Сажин Б. С. Эксергетический метод в химической технологии. М.: Химия, 1992. 204 с.

5. Hepbasli A. A key review on exergy analysis and assessment of renewable energy resources for sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. No 12 (3). Pp. 593-661

6. Rosen M. A., Dincer I. 2001. Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development. Exergy. International journal. 2001. No 1 (1). Pp. 3-13.

7. Nikkhah A., Kosari-Moghaddam A., Esmaeilpour Troujeni M., Bacenetti J., Van Haute S. Exergy flow of rice production system in Italy: Comparison among nine different varieties. Sci. Total Environ. 2021. Vol. 781. Art. 146718.

8. Yildizhan H., Taki M. Sustainable management and conservation of resources for different wheat production processes; cumulative exergy consumption approach. International Journal of Exergy. 2019. Vol. 28. № 4. Pp. 404-422.

9. Demirbas A. Combustion Characteristics of Different Biomass Fuels. Progress in Energy and Combustion Science. 2004. No 30 (2). Pp. 219-230.

10. Ziganshin B., Fakhreev N., Fakhreeva D., Kochkarinov N. Justification of the scheme for linking consumers to suppliers of mineral fertilizers obtained from the disposal of poultry waste. E3S Web of Conferences. IV International Conference on Ensuring Sustainable Development: Ecology, Earth Science, Energy and Agriculture (AEES2024). Les Ulis, 2025. Art. 04013.

11. Тулинов А. Г. Влияние различных доз минеральных удобрений на урожайность и качественные показатели перспективных гибридов картофеля. Аграрный научный журнал. 2024. № 5. С. 73-78.

12. Bhardwaj S., Sharma R. Enhancing Potato Farming through Mechanization in India: a Review. Agricultural Sciences: Techniques and Innovations. 2025. Vol. 1. Pp. 53-66.

13. Владимиров В. П., Чекмарев П. А., Владимиров К. В. Продуктивность картофеля в зависимости от густоты посадки и фона питания на серых лесных почвах лесостепи среднего Поволжья. Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 12. С. 40-43.

14. Сатункин И. В. Влияние схемы посадки и расчётных норм удобрений на структуру урожая картофеля при орошении. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (70). С. 73-74.

15. Pelvan E., Özilgen M. Assessment of energy and exergy efficiencies and renewability of black tea, instant tea and ice tea production and waste valorization processes. Sustain. Prod. Consum. 2017. Vol. 12. Pp. 59-77.

16. Troujeni M. E., Rohani A., Khojastehpour M. Application of cumulative exergy consumption approach to assess the sustainability of rapeseed production in two different farming systems. International Journal of Exergy. 2020. V. 33 (4). Art. 345.

References

1. Pereira B. de J., Scala Jr. Ne. La, Filho A. B. C. Cumulative Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions from Potato and Tomato Production in Southeast Brazil. Agronomy. No 15 (1). V. 235. Pp. 1-13

2. Timpanaro G., Branca F., Cammarata M., Falcone G., Scuderi A. Life Cycle Assessment to Highlight the Environmental Burdens of Early Potato Production. Agronomy. 2021. No 11 (5). Art. 879.

3. Sibagatullin F. S., Ganiev A. S., Khalullina Z. M., Gaitfullin I. Kh. The effect of chicken manure on some soil properties. Agrochemical Bulletin. 2024. No. 3. Pp. 67-71.

4. Sazhin B. S. The Exergetic Method in Chemical Technology. Moscow: Khimiya, 1992. 204 p.
5. Hepbasli A. A key review on exergy analysis and assessment of renewable energy resources for sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. No 12 (3). Pp. 593-661
6. Rosen M. A., Dincer I. 2001. Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development. Exergy. International journal. 2001. No 1 (1). Pp. 3-13.
7. Nikkhah A., Kosari-Moghaddam A., Esmaeilpour Troujeni M., Bacenetti J., Van Haute S. Exergy flow of rice production system in Italy: Comparison among nine different varieties. Sci. Total Environ. 2021. Vol. 781. Art. 146718.
8. Yildizhan H., Taki M. Sustainable management and conservation of resources for different wheat production processes; cumulative exergy consumption approach. International Journal of Exergy. 2019. Vol. 28. № 4. Pp. 404-422.
9. Demirbas A. Combustion Characteristics of Different Biomass Fuels. Progress in Energy and Combustion Science. 2004. No 30 (2). Pp. 219-230.
10. Ziganshin B., Fakhreev N., Fakhreeva D., Kochkarinov N. Justification of the scheme for linking consumers to suppliers of mineral fertilizers obtained from the disposal of poultry waste. E3S Web of Conferences. IV International Conference on Ensuring Sus-tainable Development: Ecology, Earth Science, Energy and Agriculture (AEES2024). Les Ulis, 2025. Art. 04013.
11. Tulinov A. G. Influence of different doses of mineral fertilizers on the yield and quality indicators of promising potato hybrids. Agrarian Scientific Journal. 2024. No. 5. Pp. 73-78.
12. Bhardwaj S., Sharma R. Enhancing Potato Farming through Mechanization in India: a Review. Agricultural Sciences: Techniques and Innovations. 2025. V. 1. Pp. 53-66.
13. Vladimirov V. P., Chekmarev P. A., Vladimirov K. V. Potato Productivity Depending on Planting Density and Nutrient Background on Gray Forest Soils of the Middle Volga Forest-Steppe. Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex. 2017. V. 31. No. 12. Pp. 40-43.
14. Satunkin I. V. Influence of Planting Pattern and Estimated Fertilizer Rates on Potato Yield Structure under Irrigation. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2018. No. 2 (70). Pp. 73-74.
15. Pelvan E., Özilgen M. Assessment of energy and exergy efficiencies and renewability of black tea, instant tea and ice tea production and waste valorization processes. Sustain. Prod. Consum. 2017. Vol. 12. Pp. 59-77.
16. Troujeni M. E., Rohani A., Khojastehpour M. Application of cumulative exergy consumption approach to assess the sustainability of rapeseed production in two different farming systems. International Journal of Exergy. 2020. V. 33 (4). Art. 345.

Информация об авторах
Фахреев Наиль Насихович, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (Российская Федерация, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51), https://orcid.org/0000-0002-0975-1682, e-mail: fakhreevnn@yandex.ru
Зиганшин Булат Гусманович, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 420011, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Рауиса Гареева, 62), https://orcid.org/0000-0002-8250-9403.
Шагеев Марат Фаридович, доцент кафедры, (Российская Федерация, 420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, 51), https://orcid.org/0000-0002-6310-0477
Authors' Information
Fakhreev Nail Nasikhovich, Associate Professor, Kazan State Power Engineering University (Russian Federation, 420066, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya Str., 51), https://orcid.org/0000-0002-0975-1682, e-mail: fakhreevnn@yandex.ru
Ziganshin Bulat Gusmanovich, Professor of the Department, Kazan State Agrarian University (Russian Federation, 420011, Republic of Tatarstan, Kazan, Rauis Gareev Str., 62), https://orcid.org/0000-0002-8250-9403.
Shageev Marat Faridovich, Associate Professor, Kazan State Power Engineering University (Russian Federation, 420066, Republic of Tatarstan, Kazan, Krasnoselskaya Str., 51), https://orcid.org/0000-0002-6310-0477

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-24

THE INTRODUCED WOODY PLANTS NATURALIZATION IN THE ARID CONDITIONS AND THE DANGER OF THEIR INVASIVE SPREAD

[1]Khuzhakhmetova A. Sh., [2]Voronina V. P., [1]Sapronova D. V.

[1]Federal Scientific Center for 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 02.02.2026 Submitted 02.04.2026

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: "To develop scientific foundations for a comprehensive study of the biodiversity of tree species and the assessment of resource potential, improvement and development of methods for monitoring, conservation, restoration and selection of economically valuable trees and shrubs under conditions of the combined action of anthropogenic factors and global climate change for implementation in forest reclamation complexes of arid territories" (FNFE-2025-0011), Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Summary
It has been established that of the total number of introduced taxa in the Volgograd region, invasive species are only slightly represented in the collection.

Abstract

Introduction. Global changes in hydrothermal resources are expanding the climatic basis for the cultivation of more heat-loving species. A certain contradiction arises between the need to increase the biodiversity of artificial plantings and the threat of invasive species spread. When undertaking agroforestry development of degraded areas and creating artificial plantings, it is necessary to take into account the risks associated with the intensity of natural regeneration of the trees and shrubs used. **Objects, materials, and methods.** Dendrological collections of the Kamyshin Arboretum of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. Objective: To determine the degree of naturalization and invasive status of introduced populations of woody plants growing in the dry steppe zone on chestnut soils. Standard botanical and silvicultural methods for studying tree species were used. Departmental materials were used to determine the biodiversity dynamics of the dendrological collections. **Results and conclusions.** The study areas were identified, where the characteristics of the age, taxonomic structure and natural regeneration were studied (*Aceraceae, Caprifoliaceae, Fabaceae, Oleaceae, Rosaceae*). A bioecological assessment of the populations of these taxa is given, including the characteristics of winter and drought resistance, flowering-fruiting, and vitality. Introduced species do not exhibit invasive hazard in arid conditions, since they independently spread only in the under-crown space, and the artificial habitat is formed and controlled by humans during the creation of forest cultures and greenery. Naturalized species produce viable seeds and self-seeding, and when reintroduced, they retain their habitus, phytocoenotic and ecological requirements. When creating plantations in arid, sparsely forested areas, it is necessary to take into account the individual characteristics of the three groups of plants we have identified according to the characteristics of regeneration: 1 – naturalization with and without human intervention (*Robinia, Acer, Crataegus, Cotoneaster*); 2 – successful naturalization within ecological niches (*Syringa, Rosa, Amelanchier, Ligustrum*); 3 – successful naturalization within ecological niches, including vegetative propagation (*Kolkwitzia, Symphoricarpos*).

Keywords: *plant introduction, plant naturalization, taxon, artificial tree plantations, self-sowing of plants, invasive plant status, forest crops.*

Citation. Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Sapronova D. V. The introduced woody plants naturalization in the arid conditions and the danger of their invasive spread. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 215-224 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-24.

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

НАТУРАЛИЗАЦИЯ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ И ОПАСНОСТЬ ИНВАЗИОННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

[1]**Хужахметова А. Ш.,** *кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник*
[2]**Воронина В. П.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]**Сапронова Д. В.,** *кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник*

[1]ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
[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: «Разработать научные основы комплексного исследования биоразнообразия древесных видов и оценки ресурсного потенциала, совершенствования и развития методов мониторинга, сохранения, восстановления и отбора хозяйственно ценных древесных и кустарниковых растений в условиях комбинированного действия антропогенных факторов и глобальных климатических изменений для внедрения в лесомелиоративные комплексы аридных территорий» (FNFE-2025-0011), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Актуальность. Глобальные изменения гидротермических ресурсов расширяют климатическую основу для выращивания более теплолюбивых видов. Возникает определенное противоречие между необходимостью повышения биоразнообразия искусственных насаждений и угрозой инвазивного распространения вида. При агролесомелиоративном обустройстве деградированных территорий и формировании искусственных насаждений необходимо учитывать риски, связанные с интенсивностью естественного возобновления используемых деревьев и кустарников. **Объекты, материалы и методы.** Дендрологические коллекции Камышинского дендрария ФНЦ агроэкологии РАН. **Цель** – установить степень натурализации и инвазивный статус интродукционных популяций древесных растений, произрастающих в зоне сухих степей на каштановых почвах. Применялись общепринятые ботанические и лесоводственные методы изучения древесных пород. Для определения динамики биоразнообразия дендрологических коллекций привлечены ведомственные материалы. **Результаты и выводы.** Выделены учетные площадки, где изучены особенности возрастной, таксономической структуры и естественного возобновления (*Aceraceae, Caprifoliaceae, Fabaceae, Oleaceae, Rosaceae*). Дана биоэколо-

гическая оценка популяций этих таксонов, включая характеристики зимо-, засухоустойчивости, цветения-плодоношения, жизненности. В засушливых условиях интродуцированные виды не проявляют инвазионную опасность, так как они самостоятельно распространяются только в подкроновом пространстве, а искусственный ареал формируется и контролируется человеком при создании лесных культур и озеленительных насаждений. Натурализовавшиеся виды, дают жизнеспособные семена и самосев, а при реинтродукции сохраняют габитус, фитоценотические и экологические потребности. При создании насаждений в засушливых малолесных районах следует учитывать индивидуальные особенности выделенных нами трех групп растений по особенностям возобновления: 1 – натурализация с участием и без участия человека (*Robinia, Acer, Crataegus, Cotoneaster*); 2 – успешная натурализация в пределах экологических ниш (*Syringa, Rosa, Amelanchier, Ligustrum*); 3 – успешная натурализация в пределах экологических ниш, включая вегетативное размножение (*Kolkwitzia, Symphoricarpos*).

Ключевые слова: интродукция растений, натурализация растений, таксон, искусственные древесные насаждения, самосев, инвазионный статус растений, лесные культуры.

Цитирование. Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Сапронова Д. В. Натурализация интродуцированных древесных растений в засушливых условиях и опасность инвазионного распространения. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 215-224. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В засушливых ландшафтах естественные лесные сообщества могут произрастать только по балкам, оврагам, так как здесь имеются дополнительные источники увлажнения. Поэтому при интродукции дендрофлоры исследователи ориентируются на формирование коллекционных фондов из засушливых и морозоустойчивых видов. Также как и в других регионах, где более благоприятные климатические условия, успешность интродукции и акклиматизации вида оценивается по многим параметрам. Приоритетом успешности является натурализация вида, когда ежегодно фиксируется не только обильное цветение и плодоношение, но и образование жизнеспособных семян [1, 2].

Абсолютной (высшей) формой натурализации является появление самосева и его «правильное» онтогенетическое развитие. Если в регионах с высокой лесистостью интродуценты могут составлять конкуренцию естественным лесам и вытеснять аборигенную флору, то в безлесных районах, где имеются только лесные культуры, такая опасность инвазий маловероятна.

Глобальные изменения гидротермических ресурсов расширяют климатическую основу для выращивания более теплолюбивых видов [3, 4, 5]. Возникает определенное противоречие между необходимостью повышения биоразнообразия искусственных насаждений и угрозой инвазивного распространения вида, которое вероятно актуально для гумидных территорий и природных парков в пойменных зонах. Для засушливых условий необходимым условием является контроль заноса карантинных болезней и вредителей, чтобы не допускать гибели существующих насаждений, в том числе ценных коллекционных фондов.

В агролесомелиоративном обустройстве деградированных территорий при формировании искусственных насаждений необходимо учитывать риски, связанные с интенсивностью естественного возобновления используемых деревьев и кустарников.

Подбор видового состава растений для искусственных насаждений зависит от конкретных лесорастительных условий местопроизрастания, целевого назначения и конструкции насаждений. При значительном опыте защитного лесоразведения [2] были установлены виды, которые проявили высокий адаптивный потенциал при произрастании в широком диапазоне почвенно-климатических условий.

В ближайшем будущем прогнозируется, в связи с потеплением, еще большее возрастание биологических инвазий [3, 4, 6]. Множество гипотез о развитии инвазивных процессов, указывает на сложность прогноза зависимости биоразнообразия сообщества и его устойчивости к вселениям новых видов [7, 8, 9]. Вместе с тем, современные вызовы, связанные с климатическими изменениями, интенсивными антропогенными воздействиями, ставят задачу изучения биоразнообразия дендрофлоры и ее мониторинг под воздействием экстремальных экологических условий [10, 11].

Цель – установить степень натурализации и инвазивный статус интродукционных популяций древесных растений, произрастающих в зоне сухих степей на каштановых почвах.

Объекты и методы исследований. Для сравнительной оценки возрастной, таксономической структуры коллекций использованы ведомственные материалы, эколого-биологическая характеристика с учетом базы данных (Свидетельство о регистрации базы данных № 2022622375 RU РФ, 2022). Проведено поквартальное обследование дендрария Нижневолжской станции по селекции древесных пород (рисунок 1) с выделением интродукционных популяций и их статуса инвазивной активности и оценкой жизненности (1 – хорошая жизненность – растение хорошо развито, имеет здоровый вид, хорошо развитые побеги, почки и листья, нормальную их окраску, обильно или хорошо цветет и плодоносит; 2 – удовлетворительная или средняя жизненность – общее развитие растения несколько слабее; прирост побегов, облиствение, цветение и плодоношение, не достигает максимума; 3 – слабая жизненность – растение заметно ослаблено, прирост побегов незначительный, цветение и плодоношение единичное или отсутствует).

а

б в

Рисунок 1 – Учет самосева в интродукционных популяциях видов рода *Acer (а), Syringa (б), Lonicera (в)*
Figure 1 – Accounting for self-sowing in introduced populations of species of the genus *Acer (a), Syringa (b), Lonicera (c)*

При оценке степени адаптации проводили оценку по способности к возобновлению: 1 – самосев; 2 – вегетативное естественное; 3 – возобновляется искусственно вегетативно. Уровни адаптации, полученные по одним и тем же таксонам, в разных условиях произрастания позволяют выявить перспективные (таблица 1) породы.

Таблица 1 – Оценка по степени адаптации к стресс-факторам [2]
Table 1 – Assessment of the degree of adaptation to stress factors [2]

Балл / Score	Зимостойкость / Winter hardiness	Степень адаптации / Adaptation degree
1	Растение не повреждается зимними условиями / The plant is not damaged by winter conditions	1
2	Повреждаются эпизодически однолетние побеги до 50 % / Up to 50 % of annual shoots are occasionally damaged	0,8
3	Полностью отмирают побеги текущего года и частично повреждаются более старые ветви / The current year's shoots die off completely and older branches are partially damaged	0,6
4	Обмерзают 2-3-летние побеги и скелетные ветви / 2-3 year old shoots and skeletal branches freeze	0,4
5	Полностью погибает надземная часть растений (или выше уровня снежного покрова) / The above-ground part of the plants (or above the snow cover level) dies completely	0,2
6	Растения вымерзают полностью / Plants freeze completely	0
	Засухоустойчивость / Drought tolerance	
1	Растение не реагирует на засушливые условия / The plant does not respond to drought conditions	1
2	Тургор листвы и хвои пониженный, растения заметно снижают прирост в этот или последующий год / The turgor of foliage and needles is reduced, plants noticeably reduce growth in this or the following year	0,8
3	Повреждается хвоя, листва и молодые побеги, прирост данного или последующего года снижается многократно или вообще отсутствует / Needles, foliage and young shoots are damaged, growth in the current or next year is reduced many times or is absent altogether	0,6
4	Повреждаются скелетные ветви, растение не восстанавливает своих размеров в последующий год / Skeletal branches are damaged, and the plant does not restore its size in the following year	0,4
5	Погибает вся надземная часть растения / The entire above-ground part of the plant dies	0,2
6	Растение гибнет от засухи полностью / The plant dies completely from drought	0

Учет естественного возобновления проведен на площади 100 м^2. Возобновление до 10 экземпляров – считается единичным, до 20 – умеренным, более 20 – обильным [2, 12]. Для таксонов, обладающих потенциально инвазионными качествами, дополнительно проведена оценка плодоношения по методологии [1].

Результаты и обсуждение. За 85-летний период работы по интродукции древесных растений учеными ФНЦ агроэкологии РАН (ранее – Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации) сформированы дендрологические коллекции в разных почвенно-климатических условиях. В Волгоградской области в зоне сухих степей с каштановыми почвами создан Камышинский дендрарий (7,5 га). В первичной таксономической структуре произошли закономерные изменения, во многом связанные с постоянным пополнением коллекций (прошли испытания 600 таксонов) и естественным выпадением видов со слабой жизненностью в новых условиях или при негативном антропогенном воздействии. За длительный период культивирования интродуцентов при различных погодных условиях (засухи, морозы) произошла отбраковка многих видов, но сохранилось свыше 300 таксонов (более 50 %). Определенный видовой ассортимент, обладающий полифункциональной устойчивостью может быть рекомендован для использования в различных типах агролесомелиоративных насаждений (полезащитные, противоэрозионные, на орошении), в озеленении [2].

Современный Камышинский дендрарий обладает не только уникальной коллекцией деревьев и кустарников, но и выращиванием наиболее адаптированного и востребованного посадочного материала с открытой и закрытой корневой системой. Практическая реализация адаптированных видов в защитных лесных культурах и их выращивание в озеленительных насаждениях показала, что они не представляют угрозы инвазивного распространения в засушливых условиях. Если проанализировать исторический опыт и динамику расширения биоразнообразия в озеленительных насаждениях, например, в таких городах,

как Волгоград, Волжский и Камышин, то почти 95-100 % – это интродуцированные виды. Установлено, что одни виды были интродуцированы за пределы естественного ареала, другие – за пределы естественного биотопа, но в пределах естественного ареала. Динамика расширения озеленительных пространств показывает, что стихийного увеличения площадей, занимаемых древесными и кустарниковыми породами, не отмечается. Самостоятельное расселение некоторых пород, например, лоха узколистного, клена ясенелистного происходит только на нарушенных и деградированных землях, где отсутствует древесно-кустарниковая растительность. Чаще всего новыми местообитаниями становятся овражные откосы или старые техногенные свалки из нетоксичных почвогрунтов.

При детальном обследовании территории дендрария выявлена трансформация некоторых площадей, где видовой состав кварталов дендрария изменил локацию интродуцированных популяций в ходе их естественного возобновления от первично интродуцированных деревьев и кустарников следующих семейств: *Aceraceae, Caprifoliaceae, Fabaceae, Oleaceae, Pinaceae, Rosaceae* (рисунок 2).

Совокупность таксонов древесных растений из вышеперечисленных семейств занимает центральную часть дендрария, произрастает более 20 лет с сохранением первоначальной численности и без искусственного подсева или подсадки растений, что свидетельствует об их натурализации, которая служит критерием успешности процесса интродукции и согласуется с результатами других авторов [13, 14].

Некоторые таксоны родов клен (*Acer*), ирга (*Amelanchier*), боярышник (*Crataegus*), жимолость (*Lonicera*), робиния (*Robinia*), ясень (*Fraxinus*), сирень (*Syringa*) и др., входят в региональный ассортимент пород, применяемый при лесовосстановлении (ГОСТ 58004-2017). Они сформировали устойчивые популяции, представленные первичными интродуцентами.

В новых условиях установлены высокие эколого-биоэкологические особенности адаптации видов (таблица 2) и хорошие показатели полнозернистости семян (рисунок 3).

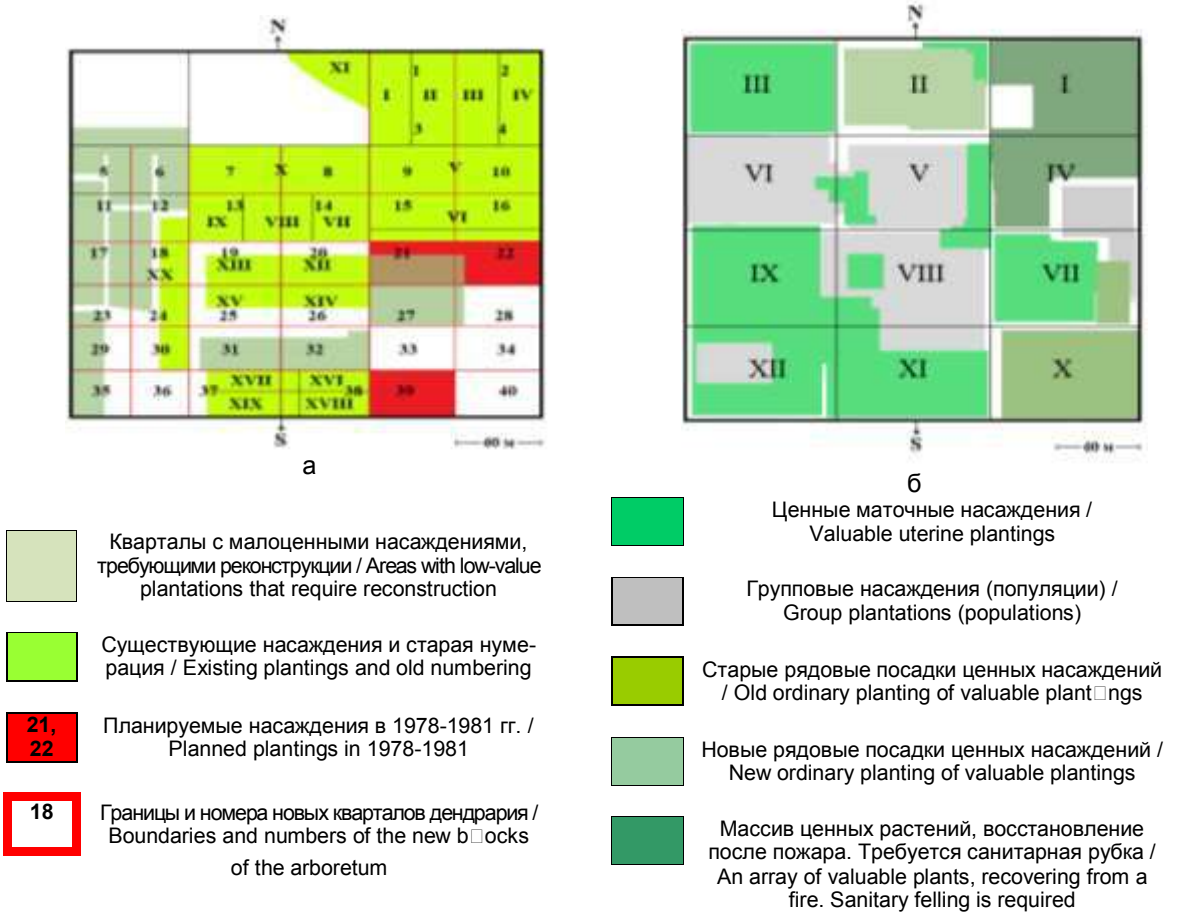


Рисунок 2 – Схема коллекционного фонда Камышинского дендрария (а – 1975 год, б – 2025 год)
Figure 2 – The collection fund of the Kamyshin Arboretum (a – 1975, b – 2025)

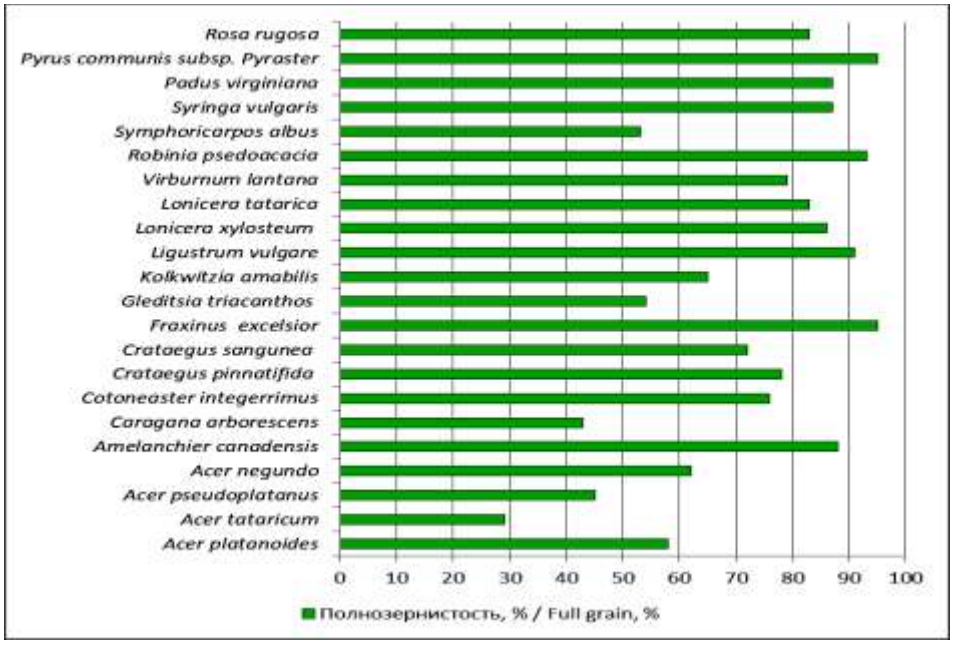


Рисунок 3 – Качество семян древесных и кустарниковых растений
Figure 3 – Woody and shrubby plants seeds quality

Таблица 2 – Эколого-биологическая характеристика некоторых натурализовавшихся таксонов Камышинского дендрария
Table 2 – Ecological and biological characteristics of some naturalized taxa of the Kamyshin Arboretum

Семейство, вид, форма / Family, type, form	Возраст, лет / Age, years	Высота, м / Height m	Диаметр на 1,3 м, см / Diameter by 1,3 m, cm	Бальная оценка адаптации с стресс факторам / Score assessment of adaptation to stress factors				
				Зимостойкость / Winter hardiness	Засухоустойчивость / Drought tolerance	Цветение / Flowering	Плодоношение / Fruiting	Жизненность / Vitality
Aceraceae								
Acer negundo	25	6,7	8,0	1	1	3	3	1
Acer tataricum	22	5,5	7,3	1	1	2	2	1
A. pseudoplatanus	55	4,2	12,0	1	0,4	5	4	2
Caprifoliaceae								
Lonicera tatarica	25	3,8	3,9	1	0,8	4	3	1
Fabaceae								
Robinia pseudoacacia	20	9,7	4,0	0,8	1	5	5	1
Oleaceae								
Fraxinus excelsior	73	5,0	8,0	1	1	4	3	2
Fraxinus pennsylvānica	73	5,8	10,0	1	1	4	3	2
Syringa vulgaris	21	2,5	3,1	1	0,8	5	3	1
Rosaceae								
Amelanchier canadensis	22	4,1	3,5	1	1	5	5	1
Pyrus pyraster	25	6,5	14,0	1	1	5	4	1

Изучение механизмов внедрения в новые экосистемы, предположительно инвазивных видов, выявило определенные противоречивые результаты, связанные с биоэкологией растений и фитоценотическим статусом аборигенного фитоценоза, что свидетельствует о сложности инвазивного процесса.

Ранее было установлено [15], что активным естественным расселением в овражно-балочных понижениях сухостепных районов характеризуется клен ясенелистный (*A. negundo*), который отличается большим процентом качественных плодов. По общей

биологической (семенной) продуктивности (10,5 %) он превосходит клен остролистный (*A. platanoides*) в 5,2 раза (2,0 %), что указывает на необходимость дифференцированного подхода в подборе видов и прогноза потенциальных рисков выращивания в насаждениях, с учетом их способности к возобновлению. Нами выделены три группы видов с обильным самосевом. Ранжирование проведено с учетом локализации самосева и количества растений на единице площади (таблица 3).

Таблица 3 – Особенности возобновления, натурализации и инвазионный статус
Table 3 – Features of renewal, naturalization, and invasive status

Группа по способности к возобновлению / Renewability Group	Вид / Species	Возобновление / Resumption			
		естественное, шт./1 м^2 / natural, pcs/1 m^2	средняя высота 1-2-летних растений, м / Average height of 1-2-year-old plants, m	искусственное, шт./1 м^2 / artificial, pcs/1 m^2	средняя высота 1-2-летних растений, м / Average height of 1-2-year-old plants, m
1 – Успешная натурализация с участием и без участия человека / Successful naturalization with and without human participation	*Acer negundo*	5	0,1-0,2	3	0,6-0,8
	Robinia pseudoacacia	8	0,3-0,4	10	0,3-0,5
2 – Успешная натурализация в пределах экологических ниш / Successful naturalization within ecological niches	*Amelanchier canadensis*	20	1,8-2,1	-	-
	Fraxinus pennsylvānica	6	5,0	-	-
	Fraxinus excelsior	5	5,8	-	-
	Ligustrum vulgare	4	0,2-0,4		
	Pyrus pyraster	15	0,6-0,8	-	-
	Rosa rugosa	18	0,4-0,5	-	-
	Syringa vulgaris	74	0,2-0,3	-	-
	Virburnum lantana	5	0,1-0,3	-	-
3 – Успешная натурализация в пределах экологических ниш, включая вегетативное размножение / Successful naturalization within ecological niches, including vegetative reproduction	*Kolkwitzia amabilis*	100	0,1-0,2	-	-
	Symphoricarpos albus	100	0,1-0,2	-	-

* «-» искусственный способ возобновления не применен / artificial renewal method was not used

Самоизреживание всходов происходит по закономерностям, свойственным молодым древесным породам в естественных насаждениях. До взрослого состояния доживают 1-2 особи/10 м^2. Взрослые экземпляры (20-40 лет) кленов, робинии лжеакация встречаются повсеместно на территории дендрария. Для контроля (густоты) распространения нежелательных видов были проведены мероприятия по удалению малоценных разновозрастных (10-40 лет) экземпляров. Из-за высокой пневой побегообразовательной способности (*Robinia pseudoacacia, Acer negundo, Acer platanoides, Fraxinus pennsylvānica, Fraxinus excelsior, Lonicera tatarica*) возникает опасность неконтролируемого вегетативного размножения. Поэтому мероприятия по оптимизации густоты растений следует проводить до двадцатилетнего возраста, тем самым уменьшив инвазивные риски.

Заключение. Установлены особенности натурализации и инвазивной опасности древесных пород, произрастающих в Камышинском дендрарии ФНЦ агроэкологии РАН. Выявлены особенности естественного возобновления деревьев и кустарников семейств *Aceraceae, Caprifoliaceae, Fabaceae, Oleaceae, Rosaceae,* достигших генеративного возраста. Дана биоэкологическая оценка популяций этих таксонов, включая характеристики зимо-, засухоустойчивости, цветения-плодоношения, жизненности.

Таксоны распределены на три группы по особенностям возобновления: 1 – натурализация с участием и без участия человека (*Robinia, Acer, Crataegus, Cotoneaster*); 2 – успешная натурализация в пределах экологических ниш (*Syringa, Rosa, Amelanchier, Ligustrum*); 3 – успешная натурализация в пределах экологических ниш, включая вегетативное размножение (*Kolkwitzia, Symphoricarpos*). В засушливых условиях интродуцированные виды не проявляют инвазионную опасность, так как они самостоятельно распространяются только в подкроновом пространстве, а искусственный ареал формируется и контролируется человеком при создании лесных культур и озеленительных насаждений. Натурализовавшиеся виды, дают жизнеспособные семена и самосев, а при реинтродукции сохраняют габитус, фитоценотические и экологические потребности.

Conclusions. The naturalization patterns and invasive hazards of tree species growing in the Kamyshin Arboretum of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences have been established. The natural regeneration patterns of mature trees and shrubs of the *Aceraceae, Caprifoliaceae, Fabaceae, Oleaceae* and *Rosaceae* families have been identified. A bioecological assessment of the populations of these taxa is provided, including characteristics of winter and drought tolerance, flowering and fruiting, and viability.

The taxa are divided into three groups based on their regeneration patterns: 1 – naturalization with and without human intervention (*Robinia, Acer, Crataegus, Cotoneaster*); 2 – successful naturalization within ecological niches (*Syringa, Rosa, Amelanchier, Ligustrum*); 3 – successful naturalization within ecological niches, including vegetative propagation (*Kolkwitzia, Symphoricarpos*). In arid conditions, introduced species do not pose an invasive threat, as they independently spread only within the under-canopy space, while the artificial habitat is formed and controlled by humans through the creation of forest plantations and greenery. Naturalized species produce viable seeds and self-seeding, and when reintroduced, they retain their habit, phytocoenotic and ecological needs.

Библиографический список

1. Семенютина А. В. и др. Методология подбора адаптированного генофонда древесных растений для агролесоводства. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2019. 139 с.
2. Семенютина А. В. и др. Научные основы и методы мониторинга состояния и динамики дендрофлоры лесомелиоративных комплексов в целях предотвращения деградации и опустынивания территорий: монография. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 196 с.
3. Бялт В. В., Фирсов Г. А., Хмарик А. Г. Натурализация чужеродных древесных растений на Северо-Западе России в условиях изменения климата. Лесохозяйственная информация. 2025. № 1. С. 62-72.
4. Дгебуадзе Ю. Ю. Биологические инвазии чужеродных видов – глобальный вызов последних десятилетий. Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 9. С. 814-823.
5. Третьякова А. С., Письмаркина Е. В., Груданов Н. Ю., Забужко Д. Э. Состав и инвазионная активность древесно-кустарниковых интродуцентов в ботаническом саду УрО РАН. Сибирский лесной журнал. 2023. № 5. С. 68-74.
6. Hanno S. et al. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. Global Change Biology. 2021. № 27. Pp. 970-982.
7. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Бочкин В. Д. Влияние чужеродных видов растений на динамику флоры территории Главного ботанического сада РАН. Российский Журнал Биологических Инвазий. 2015. № 4. С. 22-40.
8. Kirichenko N. et al. Economic costs of biological invasions in terrestrial ecosystems in Russia. NeoBiota. 2021. 10.3897/neobiota.67.58529
9. Silantyeva M. M. et al. Distribution of *Acer negundo* L. in Altai Region (Russia, Southern Siberia) and its coenotic role in pine forests. Acta Biologica Sibirica. 2021. № 7. Pp. 63-76.
10. Залибеков М. Д., Габибова А. Р. Боярышник обыкновенный в аридных условиях Дагестана. Аридные экосистемы. 2024. Т. 30. № 2 (99). С. 67-72.
11. Duputie A., Rutschmann A., Ronce O., Chuine I. Phenological plasticity will not help all species adapt to climate change. Global Change Biology. 2015. Vol. 21. I. 8. Pp. 3062-3073.
12. Чиндяева Л. Н., Беланова А. П., Киселева Т. И. Особенности естественного возобновления чужеродных видов древесных растений в условиях Новосибирска. Российский Журнал Биологических Инвазий. 2018. № 2. С. 54-71.
13. Хромова Т. М. Роль интродукционной деятельности человека в распространении инвазионных видов растений. Селекция и сорторазведение садовых культур. 2018. Т. 5. № 2. С. 58-61.
14. Рафикова О. С. Выживаемость проростков местных растений под пологом инвазивного *Acer negundo* в полевом эксперименте. Экология: факты, гипотезы, модели: Всероссийская конференция молодых ученых. Екатеринбург: ООО Универсальная типография «Альфа Принт», 2022. № 1. С. 128-135.
15. Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Сапронова Д. В., Киселева А. В. Биоэкологический мониторинг за представителями рода Acer L. для прогноза перспективности их использования в искусственных насаждениях. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 130-139.

References

1. Semenyutina A. V. et al. Methodology for selecting an adapted gene pool of woody plants for agroforestry. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2019. 139 p.
2. Semenyutina A. V. et al. Scientific foundations and methods for monitoring the state and dynamics of dendroflora in forest reclamation complexes in order to prevent degradation and desertification of territories: monograph. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Russian Academy of Sciences, 2024. 196 p.
3. Byalt V. V., Firsov G. A., Khmarik A. G. Naturalization of alien woody plants in the Northwest of Russia under climate change. Forestry information. 2025. No. 1. Pp. 62-72.

4. Dgebuadze Yu. Yu. Biological invasions of alien species – a global challenge of recent decades. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2023. Vol. 93. No. 9. Pp. 814-823.
5. Tretyakova A. S., Pis'markina E. V., Grudanov N. Yu., Zabuzhko D. E. Composition and invasive activity of introduced trees and shrubs in the botanical garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Siberian Forestry Journal. 2023. No. 5. Pp. 68-74.
6. Hanno S., Bacher S., Blackburn T.M., Capinha C. et al. Projecting the continental accumulation of alien species through to 2050. Global Change Biology. 2021. № 27. Pp. 970-982.
7. Vinogradova Yu. K., Mayorov S. R., Bochkin V. D. The influence of alien plant species on the flora dynamics of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences. Russian Journal of Biological Invasions. 2015. No. 4. Pp. 22-40.
8. Kirichenko N., Haubrock P., Cuthbert R., Akulov E. et al. Economic costs of biological invasions in terrestrial ecosystems in Russia. NeoBiota. 2021. 10.3897/neobiota.67.58529
9. Silantyeva M. M. et al. Distribution of *Acer negundo* L. in Altai Region (Russia, Southern Siberia) and its coenotic role in pine forests. Acta Biologica Sibirica. 2021. No. 7. Pp. 63-76.
10. Zalibekov M. D., Gabibova A. R. Common hawthorn in arid conditions of Dagestan. Arid ecosystems. 2024. Vol. 30. No. 2 (99). Pp. 67-72.
11. Duputie A., Rutschmann A., Ronce O., Chuine I. Phenological plasticity will not help all species adapt to climate change. Global Change Biology. 2015. Vol. 21. I. 8. Pp. 3062-3073.
12. Chindyaeva L. N., Belanova A. P., Kiseleva T. I. Features of natural regeneration of alien woody plant species in Novosibirsk. Russian Journal of Biological Invasions. 2018. No. 2. Pp. 54-71.
13. Khromova T. M. The role of human introduction activities in the spread of invasive plant species. Breeding and cultivar cultivation of horticultural crops. 2018. Vol. 5. No. 2. Pp. 58-61.
14. Rafikova O. S. Survival of native plant seedlings under the canopy of invasive Acer negundo in a field experiment. Ecology: Facts, Hypotheses, Models: Proceedings of the All-Russian Conference of Young Scientists. Ekaterinburg: Alfa Print Universal Printing House, 2022. No. 1. Pp. 128-135.
15. Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Sapronova D. V., Kiseleva A. V. Bioecological monitoring of representatives of the genus Acer L. to predict the prospects of their use in artificial plantings. News of the Lower Volga Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 3 (75). Pp. 130-139.

Информация об авторах
Хужахметова Алия Шамильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, Университетский проспект, 97), ORCID: 0000-0001-5127-8844, e-mail: avfanc@yandex.ru
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
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
Khuzhakhmetova Aliya Shamilievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for 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
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
Sapronova Darya Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation 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: 10.32786/2071-9485-2026-03-25

THE MINERAL NUTRITION VALUE IN THE SPRING BARLEY YIELD FORMATION IN THE VOLGOGRAD TRANS-VOLGA REGION

Belyaev I. A.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: npetrov60@list.ru

Received 13.04.2026 Submitted 27.05.2026

Abstract

Introduction. One of the main components that play a crucial role in the formation of high yields in the arid zone of the Volgograd Volga region is the search for ways to optimize the mineral nutrition of spring barley through the use of biological products. Research in this area is far from new. According to the materials of foreign and domestic scientists, the use of biological products in the processing of barley seed material before sowing, promotes better root mass development, increases field germination, plant survival, increases productivity and the quality of the produced raw materials of the cultivated crop. **Object.** The field experiment included the use of Cresacin and Biohumus biologics, in dosages recommended by the manufacturer. In the experiment, spring barley varieties were sown: Kamyshinsky 23 (control) and Novonikolaevsky, included in the register for the 8th region**. Materials and methods.** Experimental surveys were conducted in

2021-2024 on the land use of the farm "Churbakov A. V." in the Volgograd region. Dosages were calculated for yield estimates: 1.0 t/ha; 2.0 and 4.0 t/ha. **Results and conclusions.** The conducted studies have shown that the use of biologics contributed to an increase in the nitrate nitrogen content in chestnut soil by 1 mg/kg of soil, in comparison with the option without their use. Dynamic changes during the growing season under the influence of biological preparations did not violate the established pattern. As a result, the resulting difference did not change during the harvesting campaign. This was typical for both varieties of barley. It should be noted that the difference from the use of Vermicompost was 2 mg/ kg, which eventually led to an increase in barley yields of about 20 %. The Biohumus biological preparation proved to be better. The increase in yield over 3 years ranged from 0.67 t/ha for the Kamyshinsky 23 variety to 0.64 t/ha for the Novonikolaevsky variety. The maximum yield was obtained using the Biohumus biological product, with yields varying from 2.47 t/ha for Kamyshinsky 23 to 2.54 t/ha for Novonikolaevsky.

Keywords: *spring barley, spring barley varieties, spring barley cultivation technologies, spring barley mineral nutrition, and spring barley yield.*

Citation. Belyaev I. A. The mineral nutrition value in the spring barley yield formation in the Volgograd trans-Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 224-231 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-25.

The author's contribution. The authors of this study were directly involved in setting up the program, planning the experiment, recording 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 631.82:633.16

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В ВОЛГОГРАДСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

Беляев И. А., *соискатель*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность и значимость исследования. В засушливой зоне Волгоградского Заволжья поиск путей оптимизации минерального питания ярового ячменя является одной из ключевых задач для повышения урожайности. Использование биопрепаратов при обработке семенного материала перед посевом способствует улучшению развития корневой массы, повышению полевой всхожести, выживаемости растений и увеличению продуктивности и качества сырья возделываемой культуры. Это подтверждается материалами как зарубежных, так и отечественных ученых. **Объект исследования.** В полевом эксперименте были применены биопрепараты Крезацин и Биогумус в дозировках, рекомендованных производителем. В опыте высевались сорта ярового ячменя: Камышинский 23 (контроль) и Новониколаевский, включенные в реестр по 8 региону. **Материалы и методы.** Опытные изыскания проводились в 2021-2024 годах на землепользовании КФХ «Чурбаков А. В.» Волгоградского региона. Дозировки были рассчитаны на получение урожайности: 1,0 т/га; 2,0 и 4,0 т/га. **Результаты и выводы.** Проведенные исследования показали, что использование биопрепаратов оказывает положительное влияние на содержание нитратного азота в каштановой почве. В частности, применение биопрепаратов способствовало повышению содержания нитратного азота на 1 мг/кг почвы по сравнению с вариантом без их использования. Важно отметить, что динамические изменения во время вегетации под воздействием биопрепаратов не нарушали установленную закономерность. В результате при проведении уборочной кампании полученная разность не изменялась, что было характерно для обоих сортов ячменя. Эффективность применения Биогумуса. Особое внимание заслуживает применение биопрепарата Биогумус. В ходе исследований было установлено, что от его применения разница в содержании нитратного азота составила 2 мг/кг. Это привело к значительному росту урожайности ячменя, который составил порядка 20 %. Биопрепарат Биогумус продемонстрировал наилучшие результаты среди исследованных биопрепаратов. Урожайность ячменя при использовании Биогумуса. Прибавка урожайности за 3 года по сравнению с вариантом без обработки колебалась от 0,67 т/га у сорта Камышинский 23 до 0,64 т/га у сорта Новониколаевский. Максимальная урожайность была получена на варианте с использованием биопрепарата Биогумус. Урожайность варьировала между сортами: от 2,47 т/га у сорта Камышинский 23 до 2,54 т/га у сорта Новониколаевский. **Заключение.** Таким образом, применение биопрепаратов является эффективным способом повышения урожайности ярового ячменя в засушливой зоне Волгоградского Заволжья. Биопрепарат Биогумус показал наилучшие результаты, способствуя значительному увеличению урожайности и улучшению качества почвы. Это делает его перспективным инструментом для повышения продуктивности сельского хозяйства в условиях засушливого климата.

Ключевые слова: *яровой ячмень, сорта ярового ячменя, технологии возделывания ярового ячменя, минеральное питание ярового ячменя, урожайность ярового ячменя.*

Цитирование. Беляев И. А. Роль минерального питания в формировании урожайности ярового ячменя в Волгоградском Заволжье. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 224-231. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-25.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования непосредственно участвовал в разработке программы, в планировании эксперимента, учета и анализа полученных данных, в изложении выводов и формировании предложений производству.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последние годы в сельском хозяйстве наблюдается тенденция к переходу от традиционных химических препаратов к биологическим средствам защиты растений. Это связано с тем, что биопрепараты обладают рядом преимуществ, которые делают их более привлекательными для фермеров и аграрных предприятий.

Преимущества биопрепаратов:

1. Экологичность: биопрепараты действуют на основе естественных природных механизмов, что делает их более безопасными для окружающей среды и здоровья человека. В отличие от химических препаратов, которые могут быть токсичными и вызывать загрязнение почвы и воды, биопрепараты не наносят такого вреда.

2. Экономическая выгода: исследования показывают, что себестоимость биопрепаратов значительно ниже, чем у их химических аналогов. Это особенно важно в условиях постоянного дефицита денежных средств в сельском хозяйстве. Использование биопрепаратов позволяет фермерам сократить расходы на защиту растений, что положительно сказывается на их финансовом положении.

3. Эффективность: несмотря на более низкую стоимость, биопрепараты не уступают по эффективности химическим препаратам. Они способны защищать растения от вредителей и болезней, а также стимулировать их рост и развитие. Это делает их привлекательной альтернативой для фермеров, которые хотят получить высокий урожай при минимальных затратах [1, 2].

В России биопрепараты все шире используются в сельском хозяйстве. Это связано с тем, что они позволяют фермерам снизить затраты на защиту растений и получить высокий урожай. Кроме того, использование биопрепаратов способствует улучшению экологической ситуации в стране, что особенно важно в условиях глобального потепления и изменения климата [8, 9, 10].

Таким образом, биопрепараты представляют собой перспективное направление в сельском хозяйстве. Они позволяют фермерам получить высокий урожай при минимальных затратах, а также способствуют улучшению экологической ситуации. В условиях постоянного дефицита денежных средств в сельском хозяйстве использование биопрепаратов становится все более актуальным и необходимым.

Одним из ключевых факторов, определяющих формирование урожая высокого качества, является повышение степени обеспеченности растений минеральным питанием. Современные агротехнологии предлагают инновационные решения в виде биопрепаратов нового поколения, которые значительно улучшают развитие растений и повышают урожайность.

Использование биопрепаратов в сельском хозяйстве – это не новая практика, а проверенный временем метод, эффективность которого подтверждена многочисленными экспериментами как в России, так и за рубежом. Результаты исследований показывают, что обработка семян зерновых культур биопрепаратами перед посевом и во время вегетации оказывает положительное влияние на развитие растений.

Биопрепараты способствуют улучшению развития корневой массы, что обеспечивает растениям более эффективное поглощение питательных веществ и влаги из почвы. Это, в свою очередь, повышает полевую всхожесть и выживаемость растений, что особенно важно в условиях нестабильных погодных условий и неблагоприятных почвенных факторов.

Кроме того, биопрепараты способствуют увеличению ассимилирующей поверхности растений, что улучшает процесс фотосинтеза и, как следствие, повышает урожайность. Это особенно актуально для зерновых культур, где каждый процент увеличения урожайности может существенно повлиять на экономику хозяйства.

Таким образом, применение биопрепаратов является эффективным инструментом для повышения урожайности и устойчивости растений к неблагоприятным условиям, что делает их важным элементом современной агротехники.

Биопрепараты нового поколения представляют собой комплекс биологически активных веществ, которые стимулируют рост и развитие растений, повышают их устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды и болезням. Они способствуют улучшению минерального питания растений, что приводит к повышению качества возделываемой культуры [3, 7].

Ранние зерновые хлеба требуют особого внимания к минеральному питанию, так как они более чувствительны к дефициту микроэлементов, таких как медь, магний, марганец, цинк и молибден. Недостаток этих элементов приводит к нарушению азотного и угле-

водного обмена, что негативно сказывается на синтезе белковых веществ. Это, в свою очередь, снижает устойчивость растений к неблагоприятным условиям окружающей среды, таким как засуха, высокие и низкие температуры, а также делает их более уязвимыми к различным заболеваниям, включая сухую пятнистость, головню и фузариоз.

Для обеспечения оптимального роста и развития ранних зерновых необходимо обеспечить их достаточным количеством необходимых микроэлементов. Это можно сделать путем внесения соответствующих удобрений, содержащих необходимые элементы. Важно также учитывать, что дефицит микроэлементов может быть вызван не только недостатком их в почве, но и неправильным использованием удобрений, что также может привести к дисбалансу питательных веществ [11].

Микроудобрения, содержащиеся в биопрепаратах, играют важную роль в повышении устойчивости пшеницы к различным заболеваниям. Их применение позволяет значительно снизить развитие корневой гнили на 15-20 % и бурой ржавчины на 9-11 %. Кроме того, использование таких препаратов способствует увеличению урожайности пшеницы на 0,20-0,25 т/га. Эти данные подтверждаются исследованиями, представленными в источниках [1, 8].

В условиях современного сельского хозяйства особое значение приобретают экологически безопасные препараты биологической природы. Эти средства не только способствуют росту и развитию растений, но и обладают рядом уникальных свойств, которые делают их незаменимыми в агротехнике.

Преимущества экологически безопасных препаратов

1. Росторегулирующие свойства: такие препараты стимулируют рост растений, ускоряя процессы деления клеток и развития корневой системы. Это приводит к увеличению урожайности и улучшению качества продукции.

2. Повышение устойчивости к неблагоприятным факторам: экологически безопасные добавки помогают растениям противостоять стрессам, вызванным неблагоприятными погодными условиями, такими как засуха, заморозки или избыточная влажность. Они также повышают устойчивость растений к болезням, вызванным вирусами, грибами и бактериями.

3. Активизация защитных механизмов: эти препараты стимулируют естественные защитные механизмы растений, что позволяет им эффективнее бороться с патогенами и вредителями. Это снижает необходимость использования химических пестицидов и удобрений, что положительно сказывается на экологии и здоровье потребителей.

4. Экономическая выгода: несмотря на то, что экологически безопасные препараты могут быть дороже традиционных химических средств, их использование в долгосрочной перспективе экономически выгодно. Они позволяют сократить расходы на лечение растений и восстановление почвы, а также повышают качество и количество урожая.

Примером таких препаратов могут служить биостимуляторы, созданные на основе микроорганизмов или растительных экстрактов. Они не только улучшают рост растений, но и способствуют их адаптации к различным условиям окружающей среды. Например, использование препаратов на основе бактерий рода Bacillus или Pseudomonas позволяет повысить устойчивость растений к грибковым заболеваниям и улучшить их ростовые характеристики.

Таким образом, экологически безопасные препараты биологической природы представляют собой перспективное направление в развитии сельского хозяйства. Их использование позволяет не только повысить урожайность и качество продукции, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду. В условиях глобальных изменений климата и роста населения такие препараты становятся все более востребованными и необходимыми.

Материалы и методы. Программа исследований была направлена на изучение влияния биопрепаратов (Крезацин и Биогумус) на получение запланированного порога урожайности ячменя. Полевые опыты проводились на землепользовании КФХ «Чурбакова А. В.» в 2021-2024 гг. в Быковском районе Волгоградского региона на каштановых почвах. Размер опытного варианта составлял 7,2 м × 20,0 м = 144 м². Повторность в опыте была 4-кратной. Варианты опыта размещались по предшественнику паровая озимь. Расположение делянок было систематическим.

Посев осуществлялся в первой декаде апреля, в зависимости от погодных условий, сеялкой СЗ-3,6 с обязательным послепосевным прикатыванием. Норма высева составляла 4,0 млн всхожих зерен на гектар. Посевной материал обрабатывался биопрепаратами за трое суток до посева. После обработки проводилось перемешивание семенного материала до приобретения семян сыпучести.

В опыте было три варианта:

1. Без обработки (контроль).
2. Предпосевная обработка Крезацином в дозе 0,3-0,5 г/т и обработка Крезацином в фазу в дозе 6 г/га.
3. Обработка посевного материала универсальной жидкой гуминовой подкормкой «Айдар» (15 л водного суспензии 1:20 на 1 т семян) ПС-10А и внесение под основную обработку Биогумуса в дозе 2 т/га.

Биогумус имел следующие агрохимические характеристики: pH 7,2, содержание сухой органической массы 59 %, общего азота 1,4 %, гумуса 10 %, фосфора 1,3 %, калия 1,7 %, магния 0,9 %, кальция 4,8 %, железа 0,4 %, меди 3,5 мг/кг, марганца 56 мг/кг, цезия 29 мг/кг, влажность 39 %.

Высевалось два сорта ярового ячменя: Камышинский 23 (контроль) и Новониколаевский.

Результаты и обсуждение. Для ярового ячменя необходимо своевременно, правильно и в оптимальные сроки использовать биопрепараты. Корневая система ярового ячменя отличается более слабой поглотительной способностью, чем, например, у ржи и овса.

В проведенных опытах применяли современные биопрепараты нового поколения. Проводилась обработка не только посевного материала: препараты также использовали в период вегетации и вносили при основной обработке почвы. При проведении обработок опытных делянок изучаемыми биопрепаратами, наблюдалось их четкое воздействие на ростовые процессы культуры вследствие изменения питательного режима почвы (наличие нитратного азота).

Результат проведенных опытов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика нитратного азота в посевах ярового ячменя, в зависимости от применения биопрепаратов, мг/кг почвы (кущение)
Table 1 – Dynamics of nitrate nitrogen in spring barley crops, depending on the use of biological products, mg/kg of soil (tillering)

Сорт / Variety	Вариант / Option	2021 год / Year 2021		2022 год / Year 2022		2023 год / Year 2023	
		горизонт почвы / soil layer					
		0,00-0,22 м	0,22-0,50 м	0,00-0,22 м	0,22-0,50 м	0,00-0,22 м	0,22-0,50 м
Камышинский / Kamyshinsky 23 (Krezatsin)	Контроль / Control	18,6	12,4	20,4	14,8	19,3	13,7
	Предпосевная обработка / Pre-sowing treatment	19,4	12,7	20,1	14,4	19,8	13,6
	Кущение / The tillering	19,4	12,8	19,5	14,1	20,5	14,0
	Колошение / Earing	19,0	12,5	19,3	14,2	20,3	14,7
	Перед посевом – кущение / Before sowing, tillering	19,7	13,1	19,7	14,5	20,9	14,8
	Перед посевом – колошение / Earing – before sowing	19,3	12,6	19,9	14,1	20,0	14,3
	Перед посевом – кущение-колошение / Before sowing – tillering – earing	19,7	13,0	19,5	14,3	21,0	14,3
Камышинский 23 (Биогумус) / Kamyshinsky 23 (Vermicompost)	Предпосевная обработка / Pre-sowing treatment	18,4	12,3	20,4	14,2	19,7	13,4
	Кущение / The tillering	18,2	12,1	20,7	14,4	20,0	13,5
	Колошение / Earing	18,1	12,3	20,5	14,2	19,6	13,4
	Перед посевом – кущение / Before sowing, tillering	20,3	13,0	20,8	14,3	20,4	13,7
	Перед посевом колошение / Earing before sowing	18,7	12,2	20,2	14,4	19,3	13,6
	Перед посевом – кущение-колошение / Before sowing – tillering – earing	20,6	12,8	20,9	14,5	20,5	13,8

Анализ представленного материала наглядно показывает, что меньше всего нитратного азота содержалось на делянках, где не применялись биопрепараты. В пахотном горизонте этих вариантов содержание азота варьировало у сорта Камышинский 23-18,6 мг/кг, от применения Крезацина – 16,7 мг/кг. От применения биопрепарата Биогумус, соответственно, от 16,8 мг/кг почвы.

У сорта Новониколаевский эти показания разнились на 2 мг/кг почвы в большую сторону, из чего вытекало, что сорт Новониколаевский обладал более мощной корневой массой, способной лучше усваивать минеральные вещества из корнеобитаемого слоя.

Урожайность является итоговым результатом испытания новых видов биопрепаратов на современных сортах ярового ячменя. Это имеет большое значение для товаропроизводителей, работающих в острозасушливом регионе, к которому относится Быковский район. Результаты проведенных испытаний отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Зависимость урожайности ярового ячменя от изучаемых факторов, т/га
Table 2 – Dependence of the yield of spring barley on the studied factors, t/ha

Сорт / Variety	Вариант / Option	Год исследования / Year of research			Среднее / Average
		2021	2022	2023	
Камышинский / Kamyshinsky	Контроль / Control	1,59	2,03	1,76	1,79
	Крезацин / Kresacin	2,05	2,69	2,18	2,30
	Биогумус / Vermicompost	2,28	2,81	2,34	2,47
Новониколаевский / Novonikolaevsky	Контроль / Control	1,70	2,15	1,84	1,89
	Крезацин / Kresacin	2,17	2,75	2,30	2,40
	Биогумус / Vermicompost	2,26	2,98	2,40	2,54

$НСР_{05}$ 0,05 0,08 0,07.

Анализ полученных данных показывает, что урожайность ярового ячменя существенно зависела от применения биопрепаратов и погодных условий. В вариантах без использования биопрепаратов средняя урожайность за три года варьировала от 1,79 т/га у сорта Камышинский 23 до 1,89 т/га у сорта Новониколаевский.

При применении биопрепарата Крезацин продуктивность сортов увеличилась: у сорта Камышинский 23 она составила 2,30 т/га, а у сорта Новониколаевский – 2,40 т/га. Однако наиболее эффективным оказался биопрепарат Биогумус, обеспечивший урожайность 2,47 т/га у сорта Камышинский 23 и 2,54 т/га у сорта Новониколаевский.

Влияние погодных условий также было значительным. Из трех изучаемых лет наилучшие агрометеорологические условия наблюдались в 2022 году, что способствовало более высокой урожайности. В 2023 году условия были менее благоприятными, а в 2021 году – наименее благоприятными.

Таким образом, применение биопрепаратов, особенно Биогумуса, и благоприятные погодные условия являются ключевыми факторами, определяющими урожайность ярового ячменя.

Заключение. Применение современных биопрепаратов в сельском хозяйстве демонстрирует значительные преимущества, способствуя улучшению минерального питания растений и, соответственно, повышению урожайности. В ходе проведенных исследований было установлено, что использование биопрепарата Биогумус оказывает положительное влияние на динамику роста и развития растений. В частности, прибавка урожайности составила 0,51 т/га у сорта Камышинский 23 и 0,56 т/га у сорта Новониколаевский. Это свидетельствует о том, что применение биопрепарата Биогумус позволяет существенно повысить продуктивность сельскохозяйственных культур. Таким образом, на основании полученных результатов можно рекомендовать товаропроизводителям использовать сорт Новониколаевский в сочетании с биопрепаратом Биогумус для повышения урожайности и улучшения качества продукции. Это позволит не только увеличить объемы производства, но и повысить экономическую эффективность сельскохозяйственного производства.

Conclusion. The use of modern biological preparations in agriculture demonstrates significant advantages, contributing to the improvement of mineral nutrition of plants and, consequently, to the increase in yield. In the course of the conducted research, it was found that the use of the biological preparation Biogumus has a positive effect on the dynamics of plant growth and development. In particular, the yield increase was 0.51 t/ha for the Kamyshinsky 23 variety and 0,56 t/ha or the Novonikolaevsky variety. This indicates that the use of the biopreparation Biogumus allows for a significant increase in the productivity of agricultural crops. Thus, based on the results obtained, it can be recommended to producers to use the Novonikolaevsky variety in combination with the Biogumus biological preparation to increase the yield and improve the quality of products. This will not only increase the production volumes, but also increase the economic efficiency of agricultural production.

Библиографический список

1. Бурунов А. Н., Васин В. Г., Михалкин Н. Г. Показатели фотосинтеза ячменя и урожайность при комплексном применении удобрений и стимуляторов роста. Известия Самарской государственной академии. 2021. Выпуск № 4. С. 3-9.
2. Васин В. Г., Бурунов А. Н., Новиков А. В. Продуктивность яровой пшеницы и ячменя при применении удобрений и стимуляторов роста. Вестник Уральской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1. С. 20-25.
3. Камалеев Р. Д., Гречишкина О. С., Зависимость урожайности ярового ячменя от метеорологических условий в центральной зоне Оренбургской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 160-167.
4. Левакова О. В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ. Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 1. С. 128-135.
5. Марьина-Черемных О. Г. Влияние органоминерального удобрения ЭкоОрганика на урожайность ячменя. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021. Т. 7. № 2 (26). С. 43-48.
6. Митрофанов Д. В., Ткачева Т. А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 84-97.
7. Наумова Н. А. Влияние микробиологических препаратов на продуктивность ярового ячменя в условиях севера Астраханской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 2 (66). С. 161-168.
8. Петров Н. Ю., Филин В. И., Егорова Г. С., Беляев И. А., Ефремова Е. Н. Технологические аспекты формирования урожайности ярового ячменя в зоне каштановых почв Волгоградского региона. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (74). С. 65-72.
9. Петров Н. Ю., Воронина С. М., Курепина Н. Л., Беляев И. А., Петров Ю.Н. Вопросы плодородия почвы в посевах ярового ячменя южного региона России. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 53-60.
10. Петров Н. Ю., Шершнев А. А., Ефремова Е. Н., Беляев И.А. Особенности возделывания ячменя на юге России. Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2024. № 1 (59). С. 12-15.
11. Плескачев Ю. Н., Воронов С. И., Грабов Р. С. Совершенствование системы основной обработки при возделывании ярового ячменя. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1 (57). С. 88-95.
12. Hudzenko V. M. et al. Assessment of ecological stability in yield for breeding of spring barley cultivars with increased adaptive potential. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. No 3. Pp. 425-430.
13. Dawson I. K. et al. Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytol. 2015. V. 206. Pp. 913-931.
14. Tokhetova L. A., Akhmedova G. B., Akzhunis R. A. The use of multivariate factor analysis in the selection of spring barley for adaptability to various environmental conditions. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. No 4 (107). Pp. 70-80.

References

1. Burunov A. N., Vasin V. G., Mikhalkin N. G. Photosynthesis parameters of barley and yield with complex application of fertilizers and growth stimulants. Proceedings of the Samara State Academy. 2021. Issue No 4. Pp. 3-9.
2. Vasin V. G., Burunov A. N., Novikov A. V. Productivity of spring wheat and barley using fertilizers and growth stimulants. Bulletin of the Ural State Agricultural Academy. 2020. No 1. Pp. 20-25.
3. Kamaleev R. D., Grechishkina O.S., Dependence of spring barley yield on meteorological conditions in the central zone of the Orenburg region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2023. No 2 (70). Pp. 160-167.
4. Levakova O. V. The influence of agrometeorological climate changes on the grain productivity of spring barley in the non-black soils zone of the Russian Federation. The South of Russia: ecology, development. 2022. Vol. 17. No 1. Pp. 128-135.
5. Maryina-Cheremnykh O. G. The effect of organic mineral fertilizer EcoOrganica on the yield of barley. Bulletin of the Mari State University. The series "Agricultural sciences. Economic Sciences". 2021. Vol. 7. No 2 (26). Pp. 43-48.
6. Mitrofanov D. V., Tkacheva T. A. The impact of agrometeorological conditions, mineral fertilizers, precursors and soil moisture on the yield of spring barley grain in the steppe zone of the Southern Urals. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2021. No 4 (64). Pp. 84-97.
7. Naumova N. A. The influence of microbiological preparations on the productivity of spring barley in the conditions of the north of the Astrakhan region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2022. No 2 (66). Pp. 161-168.

8. Petrov N. Yu., Filin V. I., Egorova G. S., Belyaev I. A., Efremova E. N. Technological aspects of the formation of yield of spring barley in the zone of chestnut soils of the Volgograd region. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2023. No 4 (74). Pp. 65-72.

9. Petrov N. Yu., Voronina S.M., Kurepina N. L., Belyaev I. A., Petrov Yu.N. Issues of soil fertility in spring barley crops in the southern region of Russia. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2024. No 4 (76). Pp. 53-60.

10. Petrov N. Yu., Shershnev A. A., Efremova E. N., Belyaev I. A. Peculiarities of barley cultivation in the south of Russia. Theoretical and applied problems of agriculture. 2024. No 1 (59). Pp. 12-15.

11. Pleskachev Yu. N., Voronov S. I., Grabow R. S. Improvement of the basic processing system in the cultivation of spring barley. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: science and higher professional education. 2020. No 1 (57). Pp. 88-95.

12. Hudzenko V. M. et al. Assessment of ecological stability in yield for breeding of spring barley cultivars with increased adaptive potential. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2020. No 3. Pp. 425-430.

13. Dawson I. K. et al. Barley: a translational model for adaptation to climate change. New Phytol. 2015. V. 206. Pp. 913-931.

14. Tokhetova L. A., Akhmedova G. B., Akzhunis R. A. The use of multivariate factor analysis in the selection of spring barley for adaptability to various environmental conditions. Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University. 2020. No 4 (107). Pp. 70-80.

Информация об авторах

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

Author's Information

Belyaev Ivan Aleksandrovich, applicant, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-26

THE LONG-TERM METEOROLOGICAL SERIES ANALYSIS AS THE BASIS FOR THE CLIMATE REGIME STUDYING IN ORDER TO INCREASE THE AGRICULTURAL SECTOR SUSTAINABILITY

[1,2]Bogomolova N. V., [1]Novikov A. E., [1,2,3]Shmelyova M. Yu.

[1]Research Institute of Irrigated Agriculture Branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation
[2]Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
Moscow, Russian Federation
[3]State University for Land Management
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: ae_novikov@mail.ru

Received 27.03.2026 Submitted 05.05.2026

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

Summary

The article examines the analysis of the weather regime according to meteorological observations at the Ilovlinsky district weather station in the Volgograd region in order to identify structural components of temporal precipitation and average daily air temperatures.

Abstract

Introduction. The analysis of the meteorological parameters of the territory in order to determine the heat and moisture supply to meet the requirements of agricultural production is an important area of study, since the development of adaptation strategies for agriculture is conditioned by the effects of seasonal climatic fluctuations. **Object.** The object of the study is the meteorological parameters of the territory. The paper examines the patterns and features of the variability over time of the array of retrospective meteorological data, which were based on data on average daily air temperatures and precipitation during the warm period (May – September) from 1973 to 2023. According to observations of a weather station in the Ilovlinsky district of the Volgograd region using the Statistica 10 software. **Materials and methods.** In relation to time series, the descriptive statistics methodology is used, which includes determining the "normality" of the distribution of values of the series, identifying the dependencies between the magnitude of the series and the time factor, Fourier analysis, and seasonal decomposition of the series into structural components for analysis and evaluation. **Results and discussion.** The study found that a series of atmospheric precipitation is characterized by a fluctuating manifestation (R2 = 0.71) with a model error (Δ = 0.02), but also reveals a trend-a cyclical component describing 52 % of the series. The variability and unpredictability of this climatic series do not allow us to model the forecast of the hydro-meteorological regime with high reliability. For a number of average daily air temperatures, cyclical fluctuations (R2 = 0.81) and a smooth trend cycle

(R2 = 0.83) prevail, and low error values (Δ = 0.04 – 0.07) indicate the accuracy of these models. The differences identified in the meso climate emphasize the need for differentiated approaches in their analysis and forecasting.

Keywords: *climate regimes, meteorological series, monitoring of agricultural facilities, variability of weather conditions, climate change.*

Citation. Bogomolova N. V., Novikov A. E., Shmelyova M. Yu. The long-term meteorological series analysis as the basis for the climate regime studying in order to increase the agricultural sector sustainability. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 231-240 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2026-03-26.
Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 551.582:631.587

АНАЛИЗ ДОЛГОСРОЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ КАК ОСНОВА ИЗУЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ АГРАРНОГО СЕКТОРА

[1,2]**Богомолова Н. В.,** *ассистент*
[1]**Новиков А. Е.,** *член-корреспондент РАН, доктор технических наук*
[1,2,3]**Шмелёва М. Ю.,** *ассистент*

[1]ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]РУДН имени Патриса Лумумбы
г. Москва, Российская Федерация
[3]Государственный университет по землеустройству
г. Москва, Российская Федерация

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

Актуальность. Анализ метеорологических параметров территории с целью определения тепло- и влагообеспеченности для удовлетворения требований агропроизводства является важным направлением изучения, так как разработка стратегий адаптации ведения сельского хозяйства обусловлено последствиями сезонных климатических колебаний. **Объект.** Объектом исследования являются метеорологические параметры территории. В работе рассматриваются закономерности и особенности временной изменчивости массива ретроспективных метеоданных, основой которых послужили данные среднесуточных температур воздуха и количества атмосферных осадков за теплый период (май-сентябрь) с 1973 по 2023 г. по наблюдениям метеостанции в Иловлинском районе Волгоградской области с использованием программного обеспечения Statistica 10. **Материалы и методы.** В отношении временных рядов применяется методика описательной статистики, включающая определение «нормальности» распределения значений ряда, выявление зависимостей между величиной ряда и временным фактором, Фурье-анализ, сезонную декомпозицию ряда на структурные компоненты для их анализа и оценки. **Результаты и выводы.** В рамках исследования установлено, что для ряда атмосферных осадков характерно флуктуационное проявление (R^2 = 0,71) с ошибкой модели (Δ = 0,02), но также выявляется тренд-циклическая компонента, описывающая 52 % ряда. Изменчивость и непредсказуемость данного климатического ряда не позволяют с высокой достоверностью смоделировать прогноз гидрометеорологического режима. Для ряда среднесуточных температур воздуха превалируют циклические колебания (R^2 = 0,81) и сглаженный тренд-цикл (R^2 = 0,83), а низкие значения ошибок (Δ = 0,04 – 0,07) указывают на точность данных моделей. Отличия, выявленные в мезоклимате, подчеркивают необходимость применения дифференцированных подходов при их анализе и составлении прогнозов.

Ключевые слова: *климатические режимы, метеорологические ряды, мониторинг состояния сельскохозяйственных объектов, изменчивость погодных условий, климатические изменения.*

Цитирование. Богомолова Н. В., Новиков А. Е., Шмелёва М. Ю. Анализ долгосрочных метеорологических рядов как основа изучения климатического режима для повышения устойчивости аграрного сектора. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 231-240. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-26.
Авторский вклад. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и в равной степени несут ответственность за соблюдение этических норм в отношении публикации, распространения и использования результатов научного исследования.
Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Агроэкологический мониторинг играет важную роль в состоянии изменения окружающей среды и выявлении факторов, влияющих на стабильность сельского хозяйства. Важным элементом экологического состояния сельскохозяйственных районов яв-

ляются метеорологические параметры, детальное изучение которых помогает в организации устойчивого агропроизводства [8, 10]. Основным компонентом в исследовании режима погодных условий территорий являются данные климатических наблюдений, представляющих ретроспективные временные ряды. Данные метеорологических наблюдений имеют широкое практическое применение в анализе тенденций изменения климата, прогнозном моделировании для разработки стратегий управления природными ресурсами и адаптации к изменениям климата [2, 9].

Климатические изменения и погодные условия оказывают высокую степень воздействия на сельскохозяйственное производство в выборе территориальной специализации, агротехнических мероприятий, режимов гидромелиораций, затрат на производственный процесс [12]. Оценка динамики естественного гидротермического режима при росте частоты экстремальных погодных явлений принимает особую актуальность для обеспечения благоприятных условий произрастания сельскохозяйственных культур в регионах с недостаточным или нестабильным увлажнением. На протяжении последних десятилетний учеными в области агрометеорологии и гидрологии уделяется внимание долгосрочному моделированию прогнозов теплообеспеченности и влагообеспеченности регионов сельскохозяйственного производства, основой которого служит синоптико-статистический подход математического преобразования ретроспективных временных рядов температур воздуха и осадков [3]. К примеру, известны работы ФГБУ «ВНИИСХМ» по прогнозированию обеспеченности вегетационного периода ресурсами тепла и влаги[12], апробированные на базе ФГБУ «Свердловский ЦГМС-Р», ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» по математическому моделированию агрометеорологического прогноза на основе синоптико-статистических и динамико-статистических оценок климатических условий в период вегетации сельскохозяйственных культур для принятия оперативных мер по повышению урожайности в регионах неустойчивого земледелия [4].

Тематика исследования погодного режима набирает актуальность с каждым годом. МГЭИК[13] на данный момент выпустила 6 докладов о состоянии климата на планете и оценки рисков его глобального изменения. Они констатируют факт о климатических изменениях за последние десятилетия (увеличение температур воздуха) по наблюдениям метеостанций. Основываясь на исследованиях МГЭИК, в работе [7] приведен статистический анализ метеоданных по выявлению трендов изменений количественных характеристик параметров и оценки их значимости.

Авторы работы [1] отмечают, что характер колебаний погодного режима во многом обусловлен действием региональных климатообразующих факторов. По этой причине при анализе современных тенденций и динамических изменений необходимо учитывать мезоклиматическую специфику сельскохозяйственных территорий, поскольку именно она определяет локальные особенности проявления атмосферных процессов и позволяет обеспечить более корректную и репрезентативную интерпретацию получаемых результатов [5]. При этом следует принимать во внимание, что метеопараметры не являются стационарными: их изменчивость формируется под влиянием суточных и годовых циклов; сами параметры отличаются пространственной и временной взаимосвязью. Подобные свойства существенно усложняют процедуры их анализа и построения адекватных моделей. В связи с этим применение традиционных статистических методов исследования временных рядов не всегда обеспечивает достаточную надежность выводов, тогда как пространственное обобщение информации зачастую осуществляется на основе косвенных и приближенных подходов. В этих условиях для выявления закономерностей вероятностного проявления погодных режимов более эффективным представляется использование метода сезонной декомпозиции для изучения структуры временных рядов на основе многолетних наблюдений за ретроспективный период [6, 12].

Цель данного исследования – анализ эмпирических данных многолетних рядов осадков и среднесуточных температур воздуха с оценкой структурных составляющих ряда для дальнейшего аналитического и прогностического моделировании тепло- и влагообеспеченности на примере Иловлинского района Волгоградской области.

---

[12] Лебедева В. М., Страшная А. И. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Т. II. Методы расчетов и прогнозов в агрометеорологии. Кн. 2. Оперативное агрометеорологическое прогнозирование. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 216 с.

[13] Межправительственная группа экспертов по изменению климата, МГЭИК (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Режим доступа https://www.ipcc.ch

Материалы и методы. Для оценки режима погоды сельскохозяйственного Иловлинского района Волгоградской области основой послужили исходные данные среднесуточных температур воздуха и количество атмосферных осадков за теплый период (май-сентябрь) с 1973 по 2023 годы. Информация климатических многолетних рядов была получена из открытых источников, сформированных по многолетним наблюдениями с метеостанции «Иловля» с синоптическим индексом 34461[14]. Систематизированные и преобразованные в ряды временных интервалов метеорологические параметры, состоящие из множества числовых значений, формализуются в MS Excel для проведения математического преобразования вероятностно-статистическим методом и оценки эмпирических данных с применением программного обеспечения Statistica 10.

Методика преобразования и оценки метеорологической информации, входящей в структуру климатического ряда атмосферных осадков (рисунок 1) и ряда среднесуточных температур воздуха (рисунок 2) за теплый период 1973-2023 гг., производится по таблице 1[15,16].

Таблица 1 – Этапы обработки и анализа временных рядов метеопараметров
Table 1 **–** Stage for processing and analysis of time series of meteorological parameters

Этапы / Stages	Описание этапов / Description of stages
1	**Входные данные:** преобразование данных ретроспективного временного ряда метеопараметров / **Input data:** transformation of retrospective time series data of meteorological parameters
2	**Первичная математическая обработка ряда:** определение μ, σ, σ^2, f(x) / **Primary mathematical processing of the series:** determination of μ, σ, σ^2, f(x)
3	**Гистограмма распределения:** частота появления значений ряда и отклонения от среднего / **Distribution histogram:** frequency of occurrence of values in a series and deviations from the mean
4	**Оценка «нормальности»:** распределение значений ряда по закону Гаусса / **Evaluation of "normality"**: distribution of values of a series according to Gaussian law
5	**Автокорреляционная функция:** проверка на «белый шум» / **Autocorrelation function:** testing for "white noise"
6	**Спектральный Фурье-анализ:** периодограмма временного ряда / **Spectral Fourier Analysis:** Periodogram of a Time Series
7	**Сезонная декомпозиция:** x(t) = f(t) + s(t) + c(t) + ε(t) / **Seasonal decomposition:** x(t) = f(t) + s(t) + c(t) + ε(t)
8	**Оценка вкладов компонентов:** множественная регрессия, R^2, Δ / **Estimation of component contributions:** multiple regression, R^2, Δ

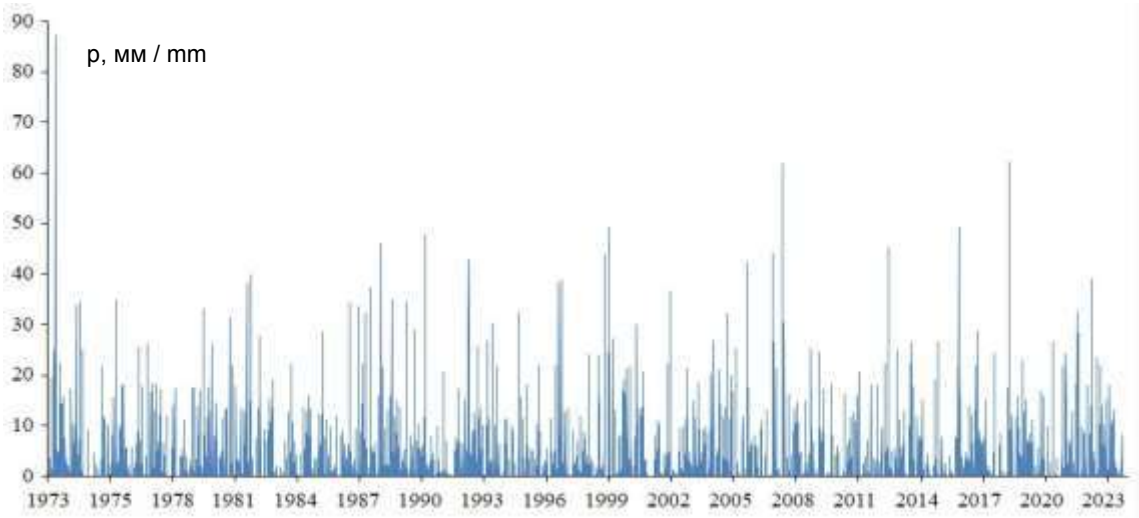


Рисунок 1 – Многолетняя динамика количества атмосферных осадков
Figure 1 – Long-term dynamics of precipitation

[14] ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»). Режим доступа http://meteo.ru.
[15] Вуколов Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учеб. пособие. М., 2008. 464 с.
[16] Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учеб. в 2-х т. Т. 1. Первичный анализ и построение эмпирических зависимостей. СПб., 2020. 256 с.

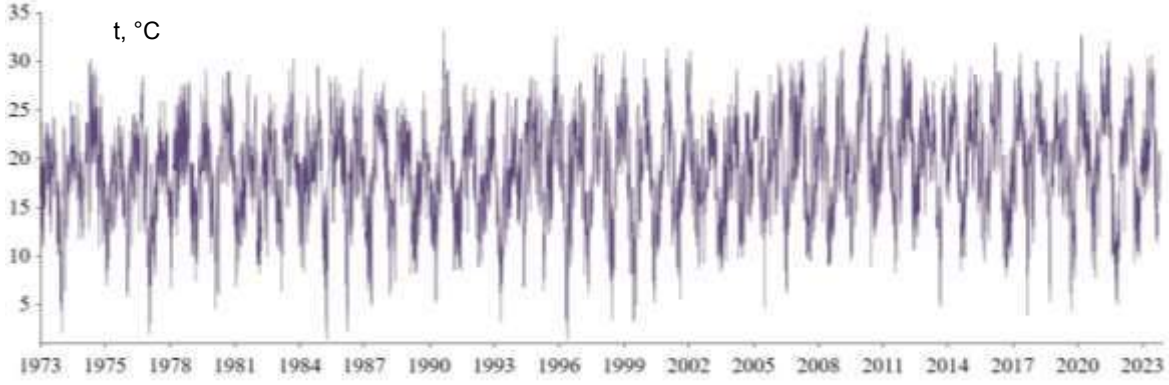


Рисунок 2 – Многолетняя динамика среднесуточных температур воздуха
Figure 2 – Long-term dynamics of average daily air temperatures

Результаты и обсуждение. В данной работе рассматривается порядок реализации математического преобразования метеорологических параметров (таблица 1) на примере временного ряда атмосферных осадков (рисунок 1).

Построение функции плотности вероятности нормального распределения f(x) начинается с определения среднего математического ожидания μ, стандартного отклонения (разброса) σ и дисперсии σ^2. Оценка «нормальности» распределения случайной величины x_i относительно ее среднего значения μ производится по распределению Гаусса:

$$f\left(x\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}; \qquad \mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i; \qquad \sigma^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i - \mu\right)^2.$$

По значениям временного ряда строили гистограмму распределения (рисунок 3) при его разложении [x_i, x_{i+1}, …, x_N] на m интервалов [b_j, b_{j+1}]. Каждому интервалу j соответствует показатель f_j, показывающий число попаданий случайной величины x_i в этот интервал (бин). Ширину и высоту (частота появления) интервала рассчитывали по формулам:

$$h = b_{j+1} - b_j; \qquad p_j = \frac{f_j}{N \cdot h},$$

где N – число наблюдений в ряду.

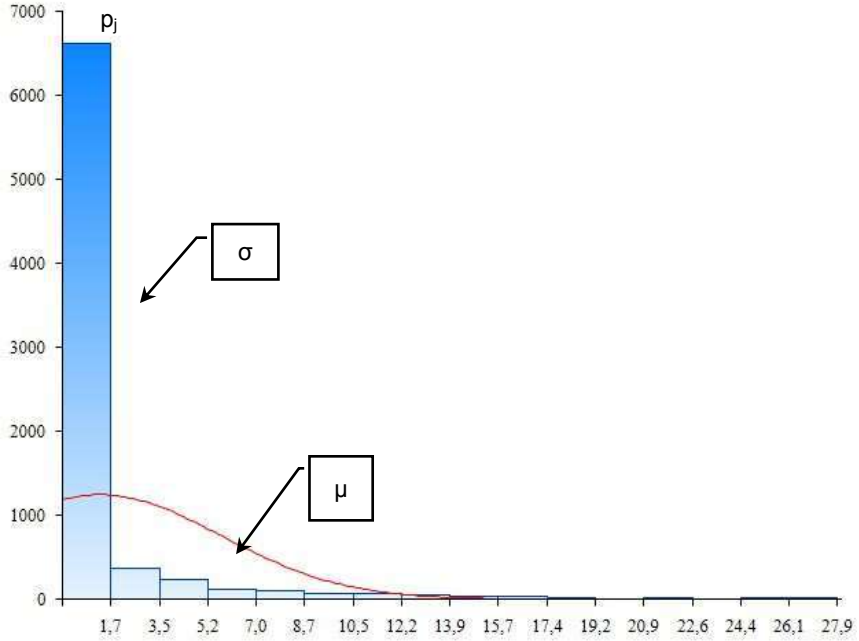


Рисунок 3 – Гистограмма распределения атмосферных осадков
Figure 3 – Histogram of precipitation distribution

Несимметричная форма гистограммы, где распределение случайной величины по частоте появления не повторяет функцию нормального распределения:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(p_j \cdot h\right) = 1,$$

свидетельствует о ее отклонении от «нормальности». Гистограмма распределения отражает явно выраженную асимметрию с выраженным сдвигом влево к начальным значениям климатического ряда, варьирующего в пределах от 0 до 1,7 мм, что свидетельствует о наиболее частом возникновении чисел в данном интервале ряда осадков за 51 год (~6800 раз), также отсутствие центральной симметрии подтверждает, что распределение на поддаётся закону нормального распределения значений временного ряда.

Автокорреляционная функция (АКФ) на примере рассматриваемого временного ряда атмосферных осадков вида [x_t, x_{t+1}, x_{t+2}, …, x_{t+N}] с лагом k (рисунок 4), рассчитывается по зависимости:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k}\left[\left(x_t - x_{cp}\right)\cdot\left(x_{t+k} - x_{cp}\right)\right]}{\sum_{t=1}^{N-k}\left(x_t - x_{cp}\right)^2}; \qquad x_{cp} = \frac{\sum_{t=1}^{N} x_t}{N},$$

где x_{cp} – среднее значение случайной величины x_i; k – значение шага времени в зависимости от размерности ряда и сезонности в диапазоне от x_t до x_{t+k}.

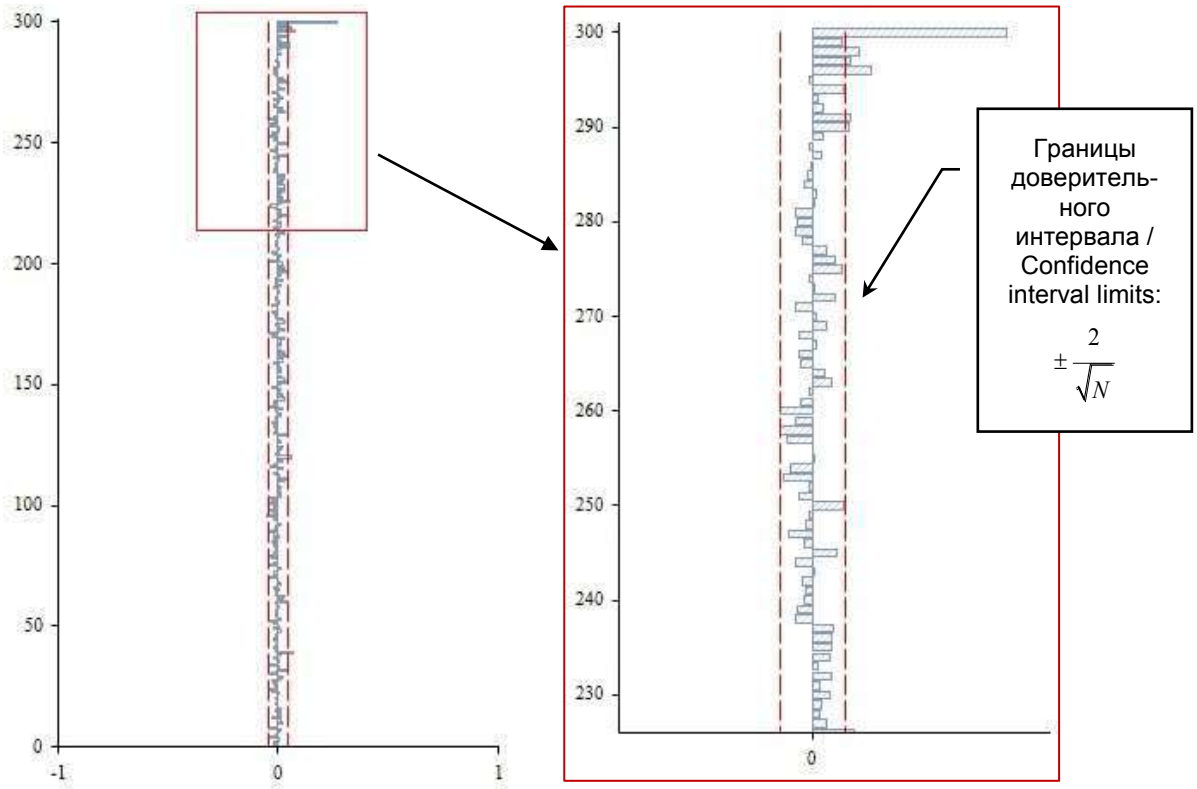


Рисунок 4 – График автокорреляционной функции ряда атмосферных осадков
Figure 4 – Autocorrelation function of the daily precipitation time series

АКФ позволяет определить является ли временной ряд «белым шумом» (случайным набором чисел без внутренней структуры) или, наоборот, выявить существование зависимости между значениями ряда и временным фактором. АКФ временного ряда атмосферных осадков за теплый период не позволяет выявить статистически значимую временную зависимость ($r_k >> \pm 2\cdot N^{-0,5}$). Графическое представление функции свидетельствует о преобладании «белого шума» метеорологического ряда: основные значения функции находятся в границах доверительного интервала.

Далее в процессе исследования проводится анализ Фурье в ПО Statistica, который позволяет выявить периодические компоненты и с вычислением квадрата модуля преобразовать последовательность данных с оценкой спектральной плотности. Полученная по итогу преобразования данных периодограмма указала на значение 152 (рисунок 5). Количество теплых дней за период изучения с мая по сентябрь соответствует выявленному значению числа периодограммы.

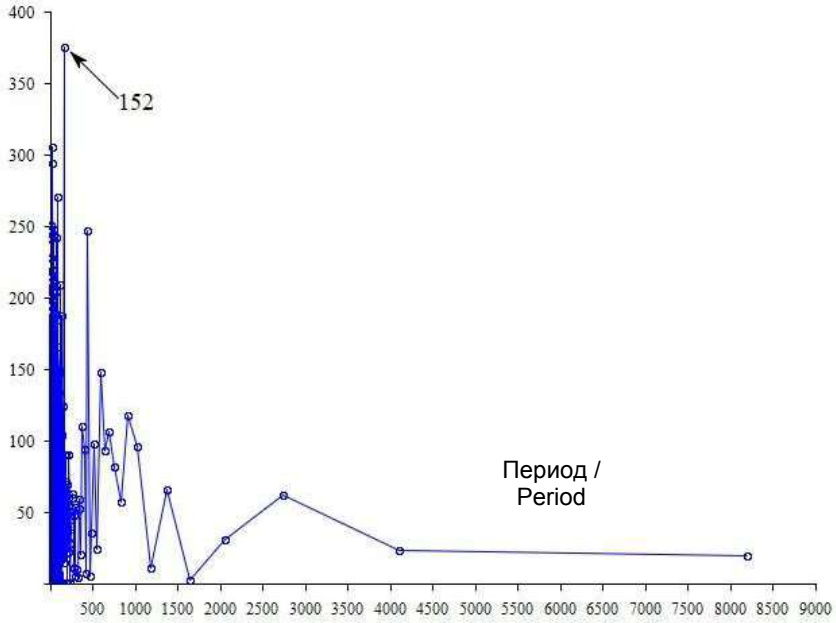


Рисунок 5 – Периодограмма временного ряда атмосферных осадков
Figure 4 – Periodogram of the time series of precipitation

На следующем этапе методологического подхода (п. 7 таблицы 1) применяется метод преобразования ряда метеоданных – сезонная декомпозиция, который позволяет выявить закономерности и вклады сезонных эффектов ряда:

$$x(t) = f(t) + s(t) + c(t) + \varepsilon(t),$$

где f(t) –тренд; s(t) –сезонность; c(t) – цикличность; ε(t) – случайность.

Каждый из компонентов вносит вклад в комплексную систему ряда: тренд проявляется при длительно протекающих процессах; сезонная компонента отражает повторяемость; вклад циклической компоненты позволяет фиксировать колебания величины относительно среднего показателя ряда; на случайность указывают факторы, не поддающиеся предсказанию.

Применение инструмента сезонной декомпозиции в математическом моделировании временного ряда позволяет выявлять погрешности, отражающие необъяснимую часть ряда (они не поддаются описанию с помощью выделения компонент) и ошибку Δ – величину отклонения фактических данных ряда от значений моделируемой компоненты (или суммы компонент).

Для определения во временном ряду длительно происходящих процессов дополнительно применялся сглаженный тренд-цикл, представляющий одновременно тренд f(t) с присутствием циклов c(t), и исключающий краткосрочные колебания и случайные факторы («шумы»).

Обработка и анализ временного ряда среднесуточных температур воздуха проводился в аналогичной же последовательности. Промежуточные этапы математического моделирования среднесуточных температур воздуха позволили выявить принципиально иные результаты:

1. Симметричная колоколообразная форма гистограммы, где распределение случайной величины по частоте появления повторяет функцию нормального распределения, свидетельствует о ее «нормальности».

2. АКФ временного ряда показала статистически значимую временную зависимость ($r_k >> \pm 2 \cdot N^{-0,5}$), а волнообразный паттерн графика указывал на наличие сезонности.

3. Периодограмма указывает на значение периода 152 (количество дней теплого периода).

Интегральные оценки вклада составляющих компонент в структуру климатических временных рядов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка составляющих в структуры временных рядов
Table 2 – Estimation of Components in Time Series Structures

Компонента / The component	Ряд атмосферных осадков / Precipitation series		Ряд температур воздуха / A series of air temperatures	
	R^2	Δ	R^2	Δ
Тренд / Trend	0,14	0,10	0,17	0,10
Сезонность / Seasonality	0,02	0,007	0,11	0,07
Цикличность / Cyclicity	0,35	0,10	0,81	0,04
Случайность / Accident	0,71	0,02	0,17	0,05
Тренд-цикл / Trend-cycle	0,52	0,02	0,83	0,07
Скользящее среднее / Moving average	0,01	0,005	0,06	0,05

Проведенная математическая обработка и анализ метеорологических параметров временных рядов (на примере ряда атмосферных осадков) с применением программного продукта по статистическому моделированию и преобразованию данных Statistica демонстрирует следующие результаты: климатическому ряду атмосферных осадков характерна непредсказуемость проявления («белый шум»), так как по результатам АКФ распределение наблюдений не подчиняется нормальному закону распределения, 96 % значений ряда – в области доверительного интервала (рисунок 4). Оценка вкладов составляющих компонент в структурную композицию ряда подтверждает выявленное преобладание флуктуационных значений: случайная компонента – R^2 = 0,71 при Δ = 0,02, тренд-цикл R^2 = 0,52 при Δ = 0,02, минимальный вклад в ряд суточного количества осадков вносит сезонная компонента и скользящее среднее R^2 = 0,01 – 0,02.

Принципиально иной результат показал математический анализ ряда среднесуточных температур воздуха. В данном климатическом ряду превалируют циклические колебания, где R^2 = 0,81 и сглаженный тренд-цикл R^2 = 0,83 с низкими значениями ошибок (Δ = 0,04 – 0,07), что говорит о точности моделирования.

Заключение. В исследовании применялась математико-статистическая обработка двух климатических рядов – временного ряда атмосферных осадков и ряда среднесуточных температур воздуха, полученных по эмпирическим данным наблюдений метеостанции в Иловлинском районе Волгоградской области за теплый период (май-сентябрь) с 1973 по 2023 г. Методика статистического анализа (таблица 1) позволяет выявить закономерности структурных составляющих временных рядов природных явлений с визуальным представлением результатов и возможностью прогнозирования погодного режима.

Изучение временного ряда осадков с применением статистических инструментов показало следующие результаты: сезонность имеет слабое проявление в ряду при превалирующем формировании стохастических колебаний с присутствием тренд-циклической компоненты, что свидетельствует о высокой изменчивости и невозможности достоверного предсказательного моделирования гидрометеорологического режима.

Анализ временного ряда среднесуточных температур за исследуемых период показал иной результат: выявлена периодичность со значением 152 (длительность теплого периода года) после преобразования данных методом Фурье, установлено преобладание цикличности и долгосрочной тенденции по итогу разложения ряда инструментом сезонной декомпозиции. Данный результат говорит о возможности использования статистической модели для прогноза температурного режима района исследования [9, 10].

Conclusion. The study used mathematical and statistical processing of two climatic series – a time series of precipitation and a series of average daily air temperatures, obtained from empirical observational data from a meteorological station in the Ilovlinsky district of the Volgograd region for the warm period (May – September) from 1973 to 2023. The statistical analysis methodology (table 1) allows us to identify patterns of structural components of the time series. a series of natural phenomena with a visual representation of the results and the ability to predict the weather regime.

The study of the precipitation time series using statistical tools showed the following results: seasonality has a weak manifestation in the series with the predominant formation of stochastic fluctuations with the presence of a trend-cyclical component, which indicates the high variability and the impossibility of reliable predictive modeling of the hydro-meteorological regime.

The analysis of the time series of average daily temperatures for the studied period showed a different result: a periodicity with a value of 152 (the duration of the warm period of the year) was revealed as a result of data conversion by Fourier analysis, the predominance of the cycle and a long-term trend was established as a result of the decomposition of the series by the seasonal decomposition tool. This result suggests the possibility of using a statistical model to predict the temperature regime of the study area [9, 10].

Библиографический список

1. Белицкая П. А., Двораковская А. В. Статистический анализ и прогноз климатических изменений. Вестник науки. 2025. № 11 (92). С. 722-727.

2. Богомолова Н. В., Новиков А. Е., Поддубский А. А. Изучение режима погоды методом анализа временных рядов для повышения устойчивости сельского хозяйства Волгоградской области. Орошаемое земледелие. 2026. № 1 (52). С. 41-46.

3. Капустина Т. А., Замаховский М. П., Медведева Е. В. Прогнозирование показателей тепловлагообеспеченности орошаемых агробиоценозов на основе методов моделирования. Вестник мелиоративной науки. 2024. № 3. С. 121-123.

4. Лебедева В. М. Результаты испытаний метода долгосрочного прогноза теплообеспеченности вегетационного периода по территории Свердловской области. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2013. № 40. С. 151-157.

5. Леонтьева Е. Е. Агроклиматические особенности сухостепной зоны светло-каштановых почв Городищенского района Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2019. 2. С. 9-14.

6. Мелихов В. В., Зибаров А. А., Мелихова Н. П., Романова А.В. Характер и направленность изменений климатических параметров Волгоградской области. Известия НВ АУК. 2019. № 1. С. 60-67.

7. Муха В. С. Статистическая обработка метеорологических данных для выводов о наличии временных трендов. Доклады БГУИР. 2020. № 18 (1). С. 96-103.

8. Павлова В. Н., Чернова О. В., Алябина И. О., Романенков В. А., Караченкова А. А. Оценка мелиоративных управляющих воздействий на продуктивность озимой пшеницы при изменении агроклиматических ресурсов (на примере Ростовской области). Метеорология и гидрология. 2024. № 6. С. 74-87.

9. Achar R., Koycegiz K. C. The Impact of Seasonal Decomposition Methods on Monthly Precipitation and Temperature Trends. 13 International Summit Scientific Research Congress. 2025. Pp. 635-645.

10. Feoktistov A., Gorsky S., Kostromin R. et al. Integration of Web Processing Services with Workflow-Based Scientific Applications for Solving Environmental Monitoring Problems. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. No 11 (1). Art. 8.

11. Gavrilov M. B., Marković S. B., Janc N. et al. Assessing average annual air temperature trends using the Mann-Kendall test in Kosovo. Acta geographica Slovenica. 2018. No 58 (1). Pp. 7-25.

12. Koycegiz C. Seasonality effect on trend and long-term persistence in precipitation and temperature time series of a semi-arid, endorheic basin in Central Anatolia, Turkey. Journal of Water and Climate Change. 2024. No 15 (5). Pp. 2402-2414.

13. Mahmood R., Donat M. G., Ortega P. et al. Constraining Decadal Variability Yields Skillful Projections of Near-Term Climate Change. Geophysical Research Letters. 2021. No 48 (24). e2021GL094915.

References

1. Belitskaya P. A., Dvorakovskaya A. V. Statistical analysis and forecast of climate change. Bulletin of Science. 2025. No 11 (92). Pp. 722-727.

2. Bogomolova N. V., Novikov A. E., Poddubsky A. A. Studying the weather regime using time series analysis to improve the sustainability of agriculture in the Volgograd region. Irrigated agriculture. 2026. No 1 (52). Pp. 41-46.

3. Kapustina T. A., Zamakhovsky M. P., Medvedeva E. V. Forecasting the indicators of heat and moisture supply of irrigated agrobiocenoses based on modeling methods. Bulletin of Land Reclamation Science. 2024. No 3. Pp. 121-123.

4. Lebedeva V. M. Results of testing the method of long-term forecast of heat supply of the vegetation period in the territory of the Sverdlovsk Region. Results of testing new and improved technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts. 2013. No 40. Pp. 151-157.

5. Leontyeva E. E. Agroclimatic features of the dry steppe zone of light chestnut soils in the Gorodishchensky district of the Volgograd region. Scientific and Agronomic Journal. 2019. No 2. Pp. 9-14.

6. Melikhov V. V., Zibarov A. A., Melikhova N. P., Romanova A. V. The nature and direction of changes in the climatic parameters of the Volgograd region. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex. 2019. No 1. Pp. 60-67.

7. Mukha V. S. Statistical processing of meteorological data for identifying temporary trends. Reports of BSUIR. 2020. No 18 (1). Pp. 96-103.

8. Pavlova V. N., Chernova O. V., Alyabina I. O., Romanenkov V. A., Karachenkova A. A. Assessment of Control Impacts on Winter Wheat Productivity under Changing Agroclimatic Resources: A Case Study for the Rostov Region. Russian Meteorology and Hydrology. 2024. No 6. Pp. 74-87.

9. Achar R., Koycegiz K. C. The Impact of Seasonal Decomposition Methods on Monthly Precipitation and Temperature Trends. 13 International Summit Scientific Research Congress. 2025. Pp. 635-645.

10. Feoktistov A., Gorsky S., Kostromin R. et al. Integration of Web Processing Services with Workflow-Based Scientific Applications for Solving Environmental Monitoring Problems. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. No 11 (1). Art. 8.

11. Gavrilov M. B., Marković S. B., Janc N. et al. Assessing average annual air temperature trends using the Mann-Kendall test in Kosovo. Acta geographica Slovenica. 2018. No 58 (1). Pp. 7-25.
12. Koycegiz C. Seasonality effect on trend and long-term persistence in precipitation and temperature time series of a semi-arid, endorheic basin in Central Anatolia, Turkey. Journal of Water and Climate Change. 2024. No 15 (5). Pp. 2402-2414.
13. Mahmood R., Donat M. G., Ortega P. et al. Constraining Decadal Variability Yields Skillful Projections of Near-Term Climate Change. Geophysical Research Letters. 2021. No 48 (24). e2021GL094915.

Информация об авторах
Богомолова Наталья Владимировна, аспирант, ассистент, Аграрно-технологический институт РУДН им. Патриса Лумумбы (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6), https://orcid.org/0000-0002-0741-392X, e-mail: bogomolova-nv@rudn.ru
Новиков Андрей Евгеньевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор, ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9) https://orcid.org/0000-0002-8051-4786, e-mail: ae_novikov@mail.ru
Шмелёва Марина Юрьевна, аспирант, ассистент, Аграрно-технологический институт РУДН им. Патриса Лумумбы (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6), https://orcid.org/0009-0005-4514-3827, e-mail: krushinova-myu@rudn.ru

Authors' Information
Bogomolova Natalia Vladimirovna, Postgraduate Student, Assistant, Agricultural Engineering Department, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklay Str., 6), https://orcid.org/0000-0002-0741-392X, e-mail: bogomolova-nv@rudn.ru
Novikov Andrey Evgenievich, Corresponding Member of RAS, Doctor of Engineering Sciences, Director, Research Institute of Irrigated Agriculture Branch of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), https://orcid.org/0000-0002-8051-4786, e-mail: ae_novikov@mail.ru
Shmeleva Marina Yuryevna, Postgraduate Student, Assistant, Agricultural Engineering Department, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklay Str., 6), https://orcid.org/0009-0005-4514-3827, e-mail: krushinova-myu@rudn.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-27

THE ANTI-WIND EROSION PROTECTION OF THE AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE VOLGOGRAD REGION DARK-COLORED SOILS ZONE

Bolgov I. A., Balynova V. V.

Federal scientific center for agroecology, integrated land reclamation and protective afforestation of the Russian academy of sciences
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: bolgov-ia@vfanc.ru, balinova-v@vfanc.ru

Received 24.03.2026 Submitted 30.04.2026

The work was carried out within the framework of the state task of the FSC of Agrarian Ecology of the RAS Research No. FNFE-2025-0008 «Mathematical modeling and forecasting of agricultural land deflation processes under man-made and natural impacts at the current level of forest reclamation protection».

Summary
The article presents the results of assessing the forest protection of arable lands by calculating the buffer from protective forest plantations in the direction of prevailing winds. The difference between the buffer and the agricultural field indicates that the field is susceptible to deflation processes. An assessment of the spatial position of the protective shelterbelts and their compliance with forest reclamation standards has been carried out.

Abstract
Introduction. The northern Volgograd Region's dark-colored soils zone contains the majority of highly productive agricultural land. High-intensity agricultural production, including tillage, crop cultivation, irrigation, grazing, and other forms of land use, leads to the degradation of the region's land resources. This is expressed in the processes of loss of soil fertility as a result of deflation and water erosion, a decrease in the agronomic and biological productivity of soils, and a loss of biodiversity, which in turn are factors in reducing the economic efficiency of agricultural production. In the fight against the degradation of agricultural lands, first of all, it is necessary to assess their forest protection, which is of the greatest importance for protecting soils from deflation. **The object of the research** is arable lands, protected or unprotected from wind erosion, located in the dark-colored soils zone of the Volgograd region. **Materials and methods.** The research methodology is based on the use of geo-information analysis of spatial remote sensing data, statistical data on crop areas, and forest plans. These data were used to develop geo-information cartographic layers of protective forest plantations and arable lands. Semi-automated classification tools implemented in QGIS 3 were used to create vector maps of fields and shelterbelts contours. Shelterbelts were classified according to their functional purpose. An analysis of the protection of arable lands was carried out using a buffer zone constructed from protective forest plantations in the direction of prevailing winds. The buffer zone corresponds to the distance at which the effect of soil protection from deflation is manifested. An analysis of the intersection of vector layers of fields and buffer zones made it possible to identify areas protected and un-

protected from deflation according to forest reclamation standards. The azimuth of the protective shelterbelt placement direction was determined by constructing vector lines corresponding to this direction. An analysis of the intersection of the azimuth lines of the direction of protective shelterbelts and prevailing winds made it possible to determine the field-protective characteristics of shelterbelts taking into account the standard angle of intersection of these azimuths. **Results and conclusion.** An assessment of the spatial position and actual areas of protective shelterbelts has been carried out. Of the 12,500 hectares of shelterbelts, 147.87 hectares comply with forest reclamation standards. Taking into account prevailing winds, 5,400 hectares of shelterbelts, including auxiliary ones, have been placed according to forest reclamation recommendations; however, they do not provide sufficient soil protection efficiency. About 6,800 hectares of shelterbelts are located without taking into account prevailing winds. An analysis of the spatial distribution of arable lands revealed that, of the 667,700 hectares of total area, 2,400 hectares have sufficient forest protection from the influence of prevailing winds. It means that most fields are subject to deflation processes. It was established that at the current level of equipment with protective plantations agricultural landscapes in the area under research are practically not protected from deflation, which requires immediate measures for forest melioration.

Keywords: *remote sensing of territories, protective forest plantations, agro-landscapes, geo-information systems, dark-colored soils, protection of agricultural landscapes.*

Citation. Bolgov I. A., Balynova V. V. The anti-wind erosion protection of the agricultural landscapes of the Volgograd region dark-colored soils zone. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 240-250 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-27.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*232+528.88

ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНАЯ ЗАЩИЩЕННОСТЬ АГРОЛАНДШАФТОВ ЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ОТ ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ

Болгов И. А., *младший научный сотрудник*
Балынова В. В., *инженер-исследователь*

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

Работа выполнена в рамках государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН НИР FNFE 2024-0008 «Математическое моделирование и прогнозирование процессов дефляции земель сельскохозяйственного назначения при техногенных и природных воздействиях на современном уровне лесомелиоративной защищенности».

Актуальность. На севере Волгоградской области в чернозёмной зоне сосредоточены основные площади высокопродуктивных сельскохозяйственных угодий. Высокая интенсивность сельскохозяйственного производства, включающая обработку почвы, выращивание культурных растений, ирригацию, выпас скота и другие формы использования земель, ведет к деградации земельных ресурсов региона. Это выражается в процессах потери плодородия почв в результате дефляции и водной эрозии, снижении агрономической и биологической продуктивности почв, утрате биоразнообразия, которые в свою очередь являются факторами снижения экономической эффективности сельскохозяйственного производства. В борьбе с деградацией сельскохозяйственных земель в первую очередь необходимо провести оценку их лесомелиоративной защищенности, имеющей наибольшее значение для защиты почв от дефляционных процессов. **Объект.** Объектом исследования являются обрабатываемые сельскохозяйственные угодья, защищенные или незащищенные от ветровой эрозии, расположенные в чернозёмной зоне Волгоградской области. **Материалы и методы.** Методология исследований основана на использовании геоинформационного анализа пространственных данных дистанционного зондирования Земли, статистических данных о посевных площадях, лесных планов, на основе которых были разработаны геоинформационные картографические слои защитных лесных насаждений (ЗЛН) и обрабатываемых сельскохозяйственных угодий. Для создания векторных карт контуров полей и ЗЛН были использованы инструменты полуавтоматической классификации, реализованные в программе QGIS 3. Классификация ЗЛН проведена в соответствии с их функциональным назначением. Выполнен анализ защищенности агроландшафтов с использованием буферной зоны, построенной от ЗЛН по направлению преобладающих ветров. Буферная зона соответствует расстоянию, на котором проявляется эффект защиты почвы от дефляции. Анализ пересечения векторных слоев полей и буферных зон позволил установить угодья, защищенные и не защищенные от дефляции согласно лесомелиоративным нормам. Определение азимута направления размещения полезащитных лесных полос (ПЗЛП) проведено методом построения векторных линий, соответствующих такому направлению. Анализ пересечения линий азимутов направления ПЗЛП и

преобладающих ветров позволил определить полезащитные характеристики насаждений с учетом нормативного угла пересечения этих азимутов. **Результаты и выводы.** Произведена оценка пространственного положения и фактических площадей ПЗЛП. Из 12,5 тыс. га ПЗЛП лесомелиоративным нормам соответствуют 147,87 га. Относительно господствующих ветров по лесомелиоративным рекомендациям размещены 5,4 тыс. га лесополос, в том числе вспомогательных, однако они не обеспечивают достаточной почвозащитной эффективности. Около 6,8 тыс. га ПЗЛП расположены без учета преобладающих ветров. При анализе пространственного размещения обрабатываемых полей установлено, что из 667,7 тыс. га общей площади 2,4 тыс. га имеют достаточную лесомелиоративную защищенность от влияния господствующих ветров, то есть большинство полей подвержены процессам дефляции. Установлено, что на современном уровне оснащённости защитными насаждениями агроландшафты на территории исследования практически не защищены от дефляции, что требует неотлагательных мер по их лесомелиорации.

Ключевые слова: *дистанционное зондирование территорий, защитные лесные насаждения, агроландшафты, геоинформационные системы, черноземы, защищенность агроландшафтов.*

Цитирование. Болгов И. А., Балынова В. В. Лесомелиоративная защищенность агроландшафтов чернозёмной зоны Волгоградской области от ветровой эрозии. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 240-250. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-27.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Волгоградская область расположена на юге Европейской части России и является одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной продукции в стране. Исследование охватывает Нехаевский, Урюпинский, Новониколаевский и Киквидзенский районы, расположенные на севере региона в зоне богато-разнотравно-типчаково-ковыльных степей. На правобережье Хопра расположена Калачская возвышенность с развитой овражно-балочной сетью, сильно расчленённым рельефом, обусловливающим наличие процессов водной эрозии на обрабатываемых полях. На левобережье до Медведицких Яров простирается Хоперско-Бузулукская равнина, занимающая большую часть территории исследования. Почвы представлены чернозёмами обыкновенными; на юге Нехаевского района встречаются чернозёмы южные (Национальный атлас почв Российской Федерации, 2011). Климат умеренно-континентальный с наибольшими для Волгоградской области показателями годового количества осадков (350-450 мм), что создает наиболее благоприятные условия для выращивания культурных растений, прежде всего зерна, подсолнечника, кукурузы, и обусловливает высокую интенсивность сельского хозяйства, трансформацию значительной части территории районов в агроландшафты. Равнинные территории распаханы практически полностью, что свидетельствует о достижении предела освоения целинных пахотнопригодных земель и невозможности роста сельскохозяйственного производства за счёт вовлечения новых земель.

Возрастающая с каждым годом интенсивность сельскохозяйственного производства ведёт к росту антропогенной нагрузки на агроландшафты и, как следствие, усилению процессов деградации обрабатываемых земель. На равнинных ландшафтах деградация в первую очередь проявляется в виде дефляционных процессов, приводящих к снижению плодородия почв и, соответственно, снижению урожайности и эффективности сельскохозяйственного производства. Дистанционные методы, основанные на обработке спутниковых снимков, дают возможность оценки подверженных деградации земель и научного обоснования лесомелиоративных работ, необходимых для борьбы с негативными процессами [1, 2].

Целью исследования является выявление пространственного размещения и лесомелиоративной защищенности сельскохозяйственных угодий Нехаевского, Урюпинского, Новониколаевского и Киквидзенского районов Волгоградской области с использованием дистанционных методов, а также анализ пространственного положения ПЗЛП относительно преобладающего направления ветра с учётом лесомелиоративных норм (Агролесомелиорация, 2006) размещения насаждений на чернозёмах обыкновенных и южных.

Агролесомелиоративные нормы предполагают размещение основных полезащитных лесополос перпендикулярно направлению господствующих ветров с допустимым отклонением до ±30° на расстоянии до 500 и 400 м друг от друга для чернозёмов обыкновенных и южных, соответственно, а также наличие вспомогательных лесополос, расположенных перпендикулярно основным на расстоянии до 2000 м друг от друга. Такие параметры обеспечивают лесомелиоративную эффективность работы системы полезащитных лесных полос.

Учитывая засушливый климат и подверженность земель Волгоградской области ветровой эрозии, результаты исследования могут быть полезны для разработки и реализации мероприятий по борьбе с дефляцией.

Материалы и методы. Методология исследований основана на использовании геоинформационного анализа пространственных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), статистических данных об обрабатываемых полях, лесных планов, на основе которых были разработаны геоинформационные картографические слои защитных лесных насаждений и сельскохозяйственных угодий.

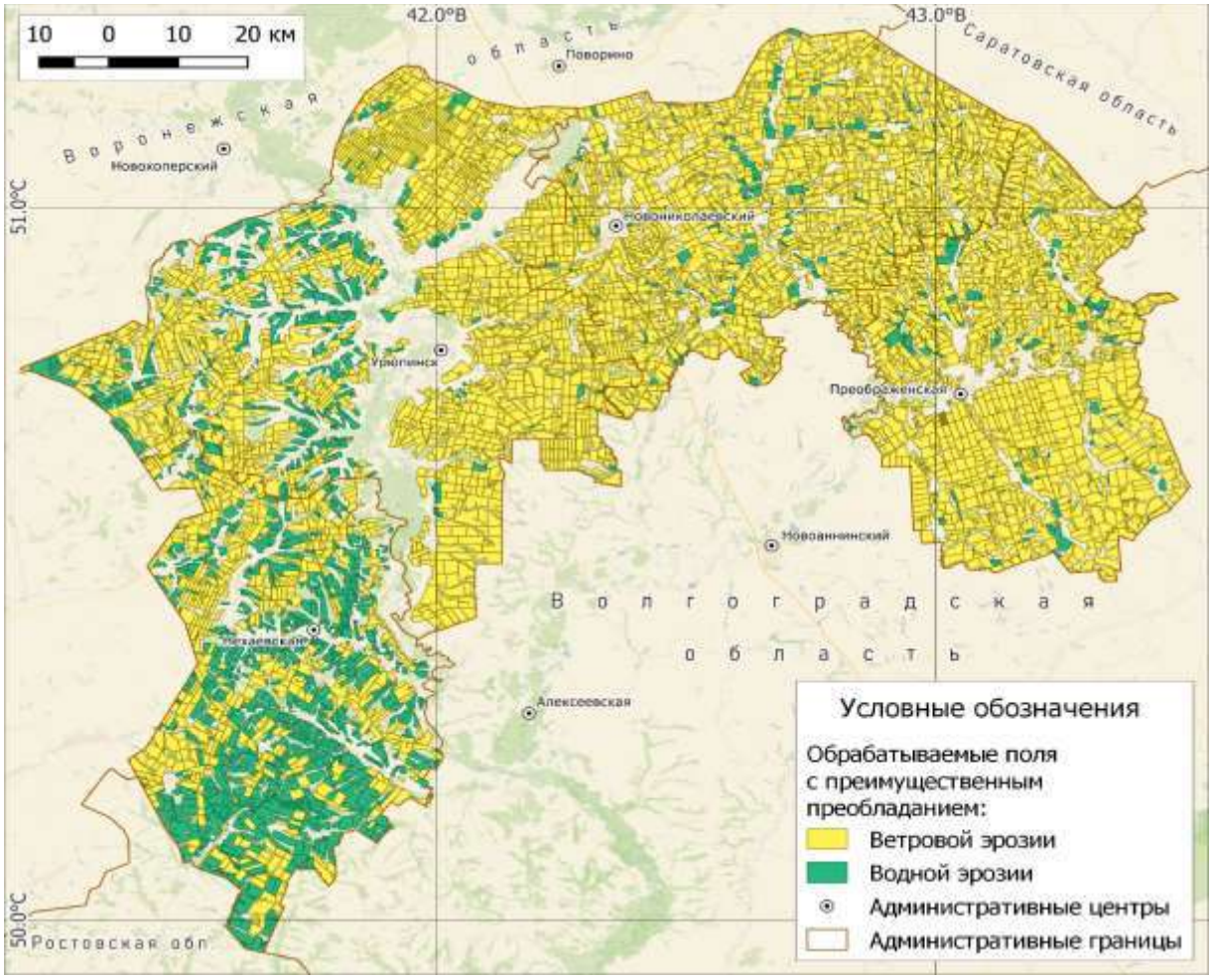


Рисунок 1 – Обзорная карта-схема сельскохозяйственных угодий исследуемой территории с классификацией по преобладающей форме эрозии
Figure 1 – Overview map of agricultural lands in the area under research with classification by the predominant form of erosion

Выявление лесомелиоративной защищенности каждого обрабатываемого поля основывается на соответствии размещения ПЗЛП лесомелиоративным параметрам, при которых лесополосы образуют целостный экологический каркас, защищающий почвы от дефляции. Имея данные о пространственном положении сельскохозяйственных угодий, ЗЛН, а также преобладающем направлении ветра, можно провести геоинформационное картографирование и анализ пространственного размещения сельскохозяйственных полей на основе полуавтоматического дешифрирования материалов спутниковой съемки с использованием инструментов векторизации, реализованных в программе QGIS 3. Предварительный картографический слой размещения полей разработан на основе спутниковых изображений сверхвысокого разрешения провайдера Maxar. Актуализация использования полей для производства сельскохозяйственной продукции осуществлялась на основе композитов спутниковых снимков Sentinel-2 за 2025 г. по характерным дешифровочным признакам – это в большинстве случаев чёткие границы, правильные формы, однородная структура внутри поля. В естественных цве-

тах (каналы 2-3-4) для пашни характерны яркие коричневые, зеленые или желтые цвета, в комбинации зелёного канала с инфракрасными (3-8-12) – яркие красные, розовые и зелёные цвета [3, 4, 5]. Залежные земли в исследовании не рассматривались, так как они имеют устойчивый растительный покров, предотвращающий процессы дефляции. Морфометрические характеристики полей, полученные на основе цифровой модели местности SRTM-1 (earthexplorer.usgs.gov), включают среднюю крутизну полей с классификацией по преобладающей форме деградации (Агролесомелиорация, 2006).

Дешифрирование ЗЛН осуществлялось полуавтоматическими методами (density slice) на основе архивных спутниковых изображений сверхвысокого разрешения провайдера Maxar с последующей верификацией по актуальным снимкам Sentinel-2 за 2025 год по соответствующим дешифровочным признакам [6, 7, 8]. Насаждения были классифицированы по функциональному назначению на полезащитные, придорожные и противоэрозионные (рисунок 2) [9, 10]. Полезащитные насаждения имеют линейную форму, расположены на равнинных участках между сельскохозяйственными полями. Придорожные лесополосы приурочены к путям транспорта. Противоэрозионные насаждения располагаются на длинных слабопокатых и покатых склонах (3-8°) перпендикулярно направлению поверхностного стока, вдоль боровок балок и оврагов, имеют криволинейную форму [11]. В отличие от ПЗЛП придорожные и противоэрозионные насаждения проектируются без учёта направления преобладающих ветров, а в зависимости от направления дорог и морфометрических характеристик территории, соответственно. Однако при определенных условиях ЗЛН этих категорий выполняют и противодефляционные функции, поэтому они были учтены при оценке лесомелиоративной защищенности полей от дефляции [12].

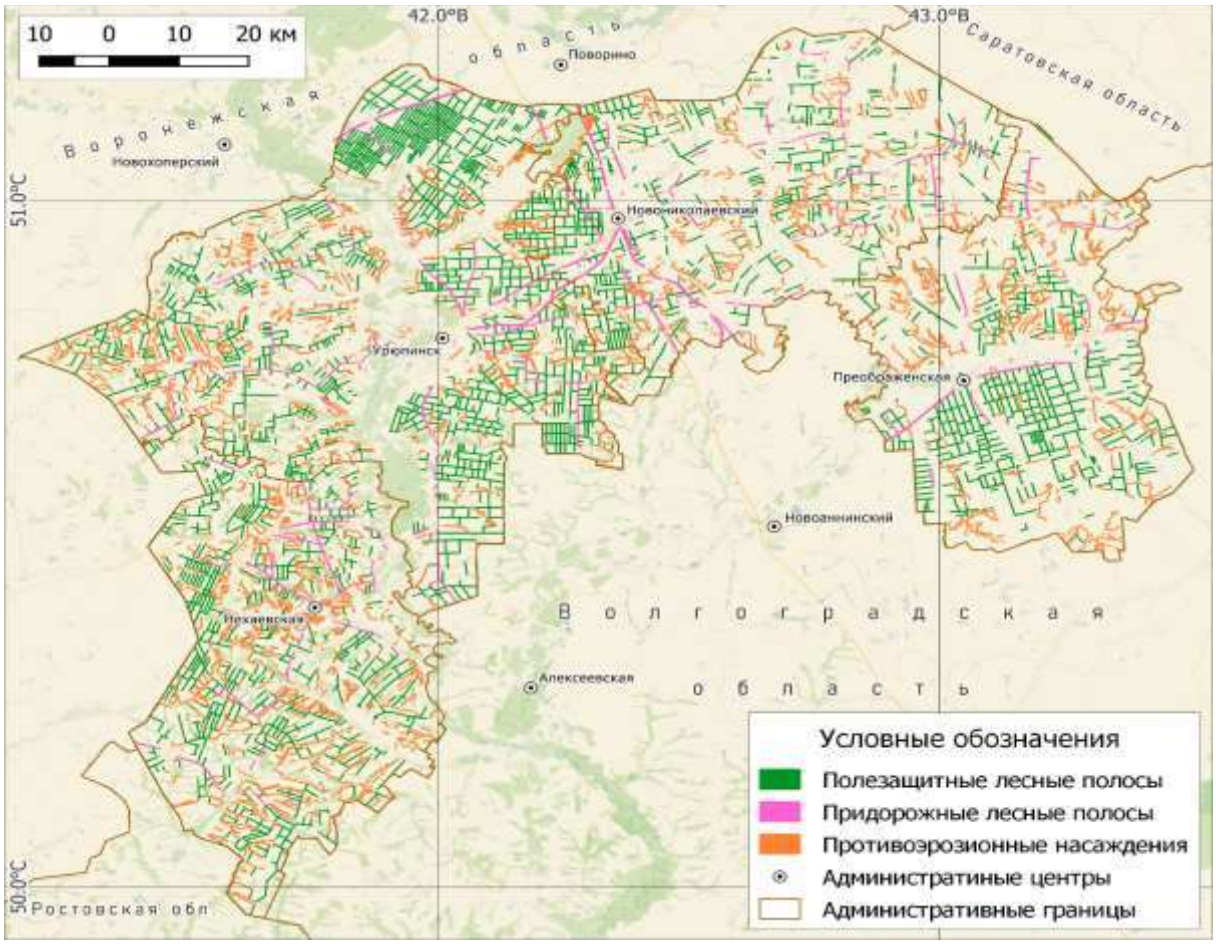


Рисунок 2 – Карта-схема защитных лесных насаждений исследуемой территории с классификацией по функциональному назначению
Figure 2 – Map of protective forest plantations of the area under research with classification by functional purpose

Векторным слоям ЗЛН и сельскохозяйственных полей для учёта типа почв был присвоен соответствующий атрибут с использованием инструмента «пересечение» со слоем почвенного покрова, полученного на основе почвенной карты Волгоградской области из Национального атласа (Национальный атлас почв Российской Федерации, 2011).

Преобладающее направление ветра – западно-юго-западное (азимут 247,5°) – определено на основе анализа среднемноголетних значений направления ветра по данным метеостанции «Урюпинск», размещённым на сайте «Погода и климат» (www.pogodaiklimat.ru).

Оценка лесомелиоративной защищенности обрабатываемых полей выполнена в программе QGIS 3 с применением инструмента «Массив перемещенных объектов» (Array translated features). Выделение защищаемой зоны полей проведено с использованием векторного полигонального слоя размещения ЗЛН, для которого был построен односторонний буфер по преобладающему направлению ветра на 500 м для лесополос на чернозёмах обыкновенных и на 400 м – на чернозёмах южных. Построенный буфер соответствует зоне влияния лесополос, в пределах которого насаждения выполняют почвозащитную функцию. Пример рассчитанной зоны влияния для полей на чернозёмах обыкновенных представлен на рисунке 3.

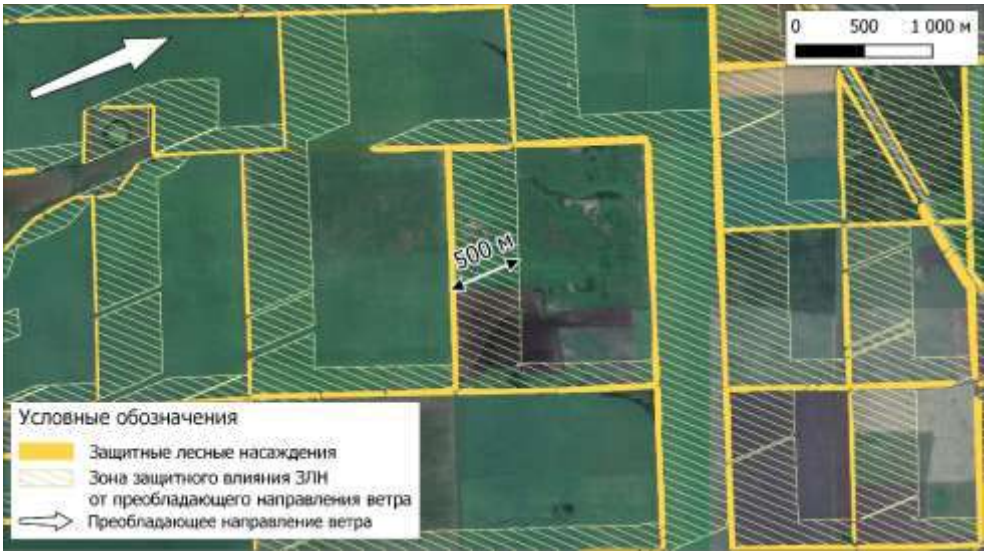


Рисунок 3 – Схема зоны защитного влияния лесополос от преобладающих ветров на полях на чернозёмах обыкновенных
Figure 3 – Scheme of the protective influence zone of forest belts from prevailing winds in fields on ordinary dark-colored soils

Определение разности между слоями обрабатываемых полей и зоны защитного влияния лесополос на полях позволило получить векторный слой незащищенных от дефляции участков полей с идентификационным номером (ID), соответствующим полю. Если площадь незащищенного участка равна 0, значит поле полностью защищено от дефляции, если больше нуля – поле не защищено.

Оценка проектного размещения ПЗЛП проводится согласно лесомелиоративным нормам. В данных рекомендациях указывается зависимость ширины защищаемого поля (или межполосного пространства) от типа и гранулометрического состава почвы, которые косвенно учитывают проектную высоту лесонасаждений в данных лесорастительных условиях и, соответственно, размер эффективных ветрозащитных зон лесных полос (30Н, 5Н – с наветренной стороны, 25Н – с заветренной). В связи с этим в задачи исследования входила оценка проектных характеристик ПЗЛП в соответствии с лесомелиоративными нормами, при которых достигается полная защищенность полей от дефляции.

При анализе соответствия пространственного положения ПЗЛП лесомелиоративным нормам размещения на чернозёмах обыкновенных и южных на основе имеющегося полигонального слоя ПЗЛП построен слой линейных объектов, для которых был рассчитан азимут направления их размещения. С учётом допустимого отклонения в ±30° от перпен-

дикуляра к преобладающему направлению ветра ПЗЛП были классифицированы на соответствующие лесомелиоративным нормам (азимут от 127,5 до 187,5° или от 307,5 до 7,5°) и несоответствующие (остальные значения). Из «несоответствующих…» исключены вспомогательные лесополосы, перпендикулярные «соответствующим…» основным лесополосам. К соответствующим лесомелиоративным нормам размещения ПЗЛП с учётом типа почв отнесены насаждения с межполосным расстоянием менее 500 м для чернозёмов обыкновенных и 400 м для чернозёмов южных.

Обработка материалов спутниковой съемки, а также векторных информационных продуктов, формирование картографических материалов и атрибутивных данных проводились в программе QGIS 3. Статистическая обработка данных проводилась в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение. Анализ пространственного размещения объектов в исследуемых районах проведён на площади 1010,8 тыс. га. В результате разработки векторных картографических слоёв установлено расположение 6155 обрабатываемых полей сельскохозяйственного назначения общей площадью 667,7 тыс. га (таблица 1), залежных земель площадью 4,3 тыс. га, которые имеют незначительную долю в структуре сельскохозяйственных земель (0,65 %). Доля обрабатываемых земель и залежей от общей площади территории составляет 66,5 %. На основе геоморфологического анализа этих векторных слоев разработаны аналитические слои распределения обрабатываемых полей по крутизне склона, показывающие, что обрабатываются в основном плоские и пологие территории (83 %), на склонах с преимущественным преобладанием процессов водной эрозии расположено 17 % пашни. На территории районов значительные площади (27,8 %) непригодны для выращивания сельскохозяйственной продукции: они приурочены к речным долинам Хопра, Бузулука, Касарки, Кардаила, Большой Завязки и других более мелких притоков, заняты массивами пойменных лесов и лугами, а также развитой овражно-балочной сетью Калачской возвышенности. Значительная доля агроландшафтов в структуре земельного фонда исследуемых районов и низкий уровень отчуждения угодий из сельскохозяйственного оборота свидетельствуют о высокой интенсивности сельскохозяйственного производства.

Таблица 1 – Структура агролесоландшафтов на территории исследования по данным ДЗЗ
Table 1 – The structure of agricultural forestry landscapes in the area under research according to remote sensing data

Название района / District name	Площадь района, тыс. га / Area of the district, thousand hectares	Кол-во полей, ед. / Number of fields, units	Площадь полей, тыс. га / Field area, thousand hectares	Кол-во ЗЛН, ед. / Number of protective forest stands, units	Общая площадь ЗЛН, тыс. га / Total area of protective forest plantations, thousand hectares	Площадь ПЗЛП, тыс. га / Area of field-protecting forest belts, thousand hectares	Протяженность ПЗЛП, км / Length of field-protecting forest belts, km
Киквидзенский / Kikvidzenskii	206,60	1318	153,54	2341	3,83	2,06	801,31
Нехаевский / Nekhaevskii	217,33	1362	137,95	2834	6,20	2,83	956,42
Урюпинский / Uryupinskii	350,57	1704	205,03	4394	9,91	5,33	1946,34
Новониколаевский / Novonikolaevskii	236,34	1771	171,17	2464	5,03	2,31	774,95
Итого / Total	1010,84	6155	667,69	12033	24,97	12,53	4479,02

По результатам геоинформационного анализа данных ДЗЗ выявлено 12033 участка ЗЛН, которые занимают общую площадь около 25 тыс. га. В структуре защитных насаждений наибольшую долю занимают ПЗЛП, выполняющие противодефляционную функцию, общей площадью 12,5 тыс. га. Противоэрозионные насаждения размещены на площади 9,1 тыс. га, более половины из которых (4,6 тыс. га) приурочено к овражно-балочной сети Калачской возвышенности на правом берегу Хопра. Площадь придорожных лесополос составляет 3,4 тыс. га.

Оценка пространственного размещения ПЗЛП показала, что лесомелиоративным нормам (направлению относительно господствующих ветров, расстоянию между основными лесополосами, наличию вспомогательных лесополос) соответствуют лишь 147,87 га (1,2 %) противодефляционных лесополос (рисунок 4). Из них 30 га не обеспечивают полную защиту от дефляции из-за низкой сохранности и наличия выпавших участков насаждений.

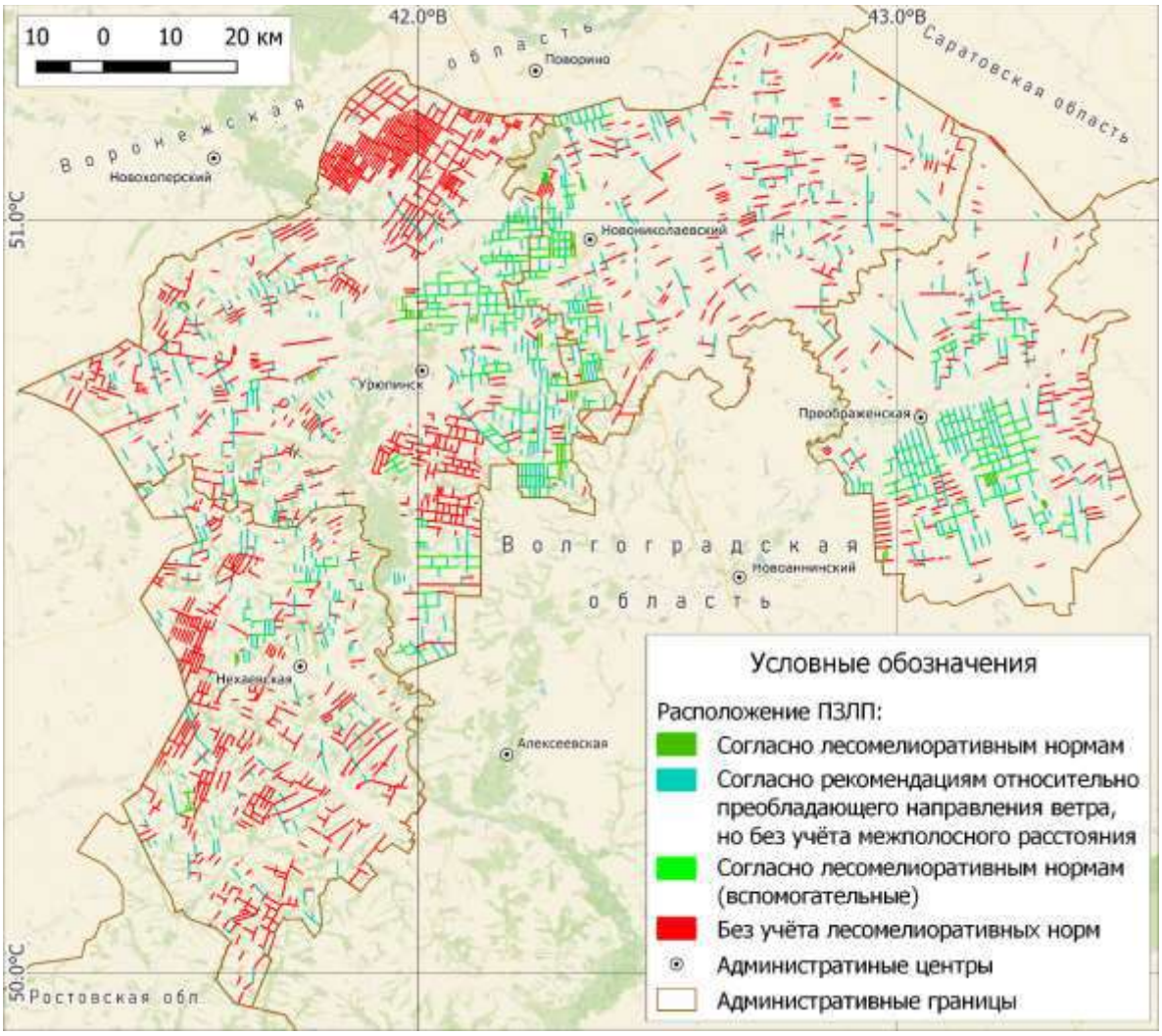


Рисунок 4 – Карта-схема размещения полезащитных лесных полос с учётом соответствия лесомелиоративным нормам
Figure 4 – Map of the disposition of forest shelterbelts according to compliance with forest reclamation standards

Полезащитные насаждения площадью 5,4 тыс. га размещены с учётом направления господствующих ветров (в том числе вспомогательные), однако они не обеспечивают достаточной защиты почв из-за расстояний между основными лесополосами, не соответствующими лесомелиоративным нормам, а также из-за низкой сохранности части ПЗЛП, что не обеспечивает защиту от дефляции на соответствующих участках поля. Около 6,8 тыс. га полезащитных лесополос высажены без учёта направления преобладающих ветров.

Анализ лесомелиоративной защищенности площади обрабатываемых сельскохозяйственных угодий показал, что из 667,7 тыс. га всех полей только 2,4 тыс. га (0,35 %) защищены от дефляции. В основном это поля небольшой площади (средний размер защищённого поля 19,07 га при среднем размере всех полей 106 га), окруженные защитными насаждениями различного функционального назначения и пространственного положения. Из них лишь 718 га защищены ПЗЛП, высаженными в соответствии с лесомелиоративными нормами. В большинстве же случаев ПЗЛП расположены на расстоянии, превышающем

зону их защитного влияния или без учёта направления господствующих ветров, часть из которых имеет низкую сохранность, из-за чего не обеспечивается системность их функционирования. Таким образом, установлено, что большинство полей (666,2 тыс. га) не защищены в соответствии с лесомелиоративными нормами.

Результаты исследования могут быть полезны при разработке предложений к планированию лесомелиоративных мероприятий, направленных на повышение защищенности территории от дефляции. В первую очередь в существующей системе полезащитных лесонасаждений необходимо проектирование на равнинных территориях дополнительных основных и вспомогательных лесополос с учётом научно обоснованных лесомелиоративных норм межполосных расстояний и направления преобладающих ветров, в результате чего будет достигнута системность работы агролесомелиоративных насаждений.

При проектных работах также необходимо учитывать конструкцию лесополос, от которой эффективность ветрозащитных функций может сильно изменяться. Так, ПЗЛП на территории исследования высажены в основном в 6-8 рядов (ширина полога от 21 до 30 м), реже – 18-20 рядов (55-60 м). Для лесополос, имеющих более 6 рядов древесной растительности, а также сопутствующие породы и кустарник, характерна плотная конструкция. Незначительную долю занимают четырехрядные лесополосы. Отсутствие лесоводственных уходов в течение последних десятилетий привело к разрастанию продуваемых и ажурных насаждений и повсеместному формированию плотной конструкции [13]. Многими исследователями отмечается низкая ветрорегулирующая эффективность лесополос плотной конструкции, по сравнению с которыми полосы ажурной и продуваемой конструкции обеспечивают на 30-45 % большую дальность эффективного влияния на скорость ветра, что подтверждено натурными исследованиями (Иващенко Н. Н., 2013; Ивонин М. В. и др., 2010; Родин А. Р. и др., 2014). Для степной зоны европейской части России, к которой относятся территории исследования, рекомендуется проектирование лесополос ажурной и продуваемой конструкции. Практика показывает, что при полезащитном лесоразведении предпочтительной является ажурная конструкция насаждений [14]. Высокую эффективность показали узкие ПЗЛП, с целью более эффективного использования сельскохозяйственных земель и снижения себестоимости посадки рекомендуется закладывать трех-четырехрядные насаждения (Родин А. Р. и др., 2014). В существующих насаждениях рекомендуется проведение лесоводственных уходов с целью увеличения продуваемости лесополос.

Важнейшим фактором в управлении сельскохозяйственными землями, комплексно влияющим на их плодородие, сохранение и продуктивность, является лесомелиоративное обустройство территории, в результате которого обеспечивается защищённость полей за счёт создания научно обоснованной системы полезащитных насаждений, являющихся важнейшим стабилизирующим компонентом агроландшафтов [15]. Планирование лесомелиоративных мероприятий с учетом научно обоснованных рекомендаций позволит не только оптимизировать процессы землепользования, повысить эффективность сельскохозяйственного производства, но и обеспечить экологический баланс территории и устойчивое развитие региона.

Заключение. На основе данных дистанционного зондирования Земли и геоинформационных методов получены пространственные данные о ЗЛН Нехаевского, Урюпинского, Новониколаевского и Киквидзенского районов Волгоградской области с классификацией их по функциональному назначению на полезащитные, противоэрозионные и придорожные лесополосы. Произведена оценка пространственного положения ПЗЛП, соответствия их размещения лесомелиоративным нормам и выполнения функции защиты почв от дефляции. Так, из 12,5 тыс. га ПЗЛП нормам по направлению относительно преобладающих ветров, расстоянию между основными лесополосами, наличию вспомогательных лесополос соответствуют только 147,87 га (1,2 %). Полезащитные насаждения площадью 5,4 тыс. га размещены с учётом направления преобладающих ветров, но на расстоянии между основными полосами, не соответствующем лесомелиоративным нормам. Большинство ПЗЛП (6,8 тыс. га) размещены без учёта направления преобладающих ветров.

Анализ лесомелиоративной защищённости обрабатываемых сельскохозяйственных угодий показал, что в полной мере она обеспечена для полей площадью 2,4 тыс. га. Из них 718 га имеют ПЗЛП, размещённые по лесомелиоративным нормам, в остальных случаях защищённость обеспечивается прилегающими насаждениями различного функционального назначения и пространственного размещения. Большинство обрабатываемых угодий (666,2 тыс. га) не защищены от дефляции.

Результаты исследования могу служить основой для планирования мероприятий по лесомелиорации, направленных на оптимизацию процессов землепользования, повышение эффективности сельскохозяйственного производства и обеспечение устойчивого развития региона.

Conclusions. Based on remote sensing data and geo-information methods, spatial data of protective forest plantations in the Nekhaevsky, Uryupinsky, Novonikolaevsky and Kikvidzensky districts of the Volgograd region nave been obtained and their classification according to their functional purpose into protective shelterbelts, anti-erosion and roadside forest strips have been carried out. An assessment of the spatial position of protective shelterbelts, their compliance with forest reclamation standards and the function of protecting soils from deflation have been conducted. Thus, of the 12,500 hectares of shelterbelts, only 147.87 hectares (1.2 %) correspond to the standards for direction relative to prevailing winds, distance between main shelterbelts, and the equipment of auxiliary shelterbelts. 5,400 thousand hectares of protective shelterbelts are located taking into account the direction of prevailing winds, but at a distance exceeding the forest melioration standards. Most of the shelterbelts (6,800 hectares) are located without taking into account the prevailing winds.

An analysis of the forest protection of arable lands showed that it is fully ensured for fields with an area of 2,400 hectares. 718 hectares of these fields are equipped with shelterbelts located according to forest reclamation standards; in other cases, protection is provided by adjoined plantations of various functional purposes and spatial location. The most of the arable lands (666,200 hectares) is not protected from deflation.

The results of the research can serve as a basis for planning forest melioration measures aimed at optimizing land use processes, increasing the efficiency of agricultural production and ensuring sustainable development of the region.

Библиографический список

1. Грошева О. А. Развитие научных основ рационального землепользования и устойчивого развития степных и лесостепных регионов России в XVIII-XXI вв.: опыт периодизации. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 11. С. 35-39.

2. Синельникова К. П. Оценка состояния агроландшафтов Донской гряды с использованием ГИС-технологий и космоснимков. Успехи современного естествознания. 2022. № 6. С. 21-26.

3. Васильченко А. А. Пространственный анализ инфраструктуры орошаемых полей Волго-Ахтубинской поймы на территории Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 12-18.

4. Дорошенко В. В. Зависимость вегетации озимых культур от рельефа и почв на востоке Ставропольского края. Исследование Земли из космоса. 2023. № 5. С. 71-84.

5. Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. W. Remote sensing and image interpretation. 2015. 736 p.

6. Антонов С. А. Анализ пространственного положения защитных лесных насаждений на основе геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. № 2. С. 408-420.

7. Балынова В. В. Геоинформационный анализ параметров сохранности защитных лесных насаждений Котельниковского района Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2022. № 4 (119). С. 66-71.

8. Выприцкий А. А., Матвеев Ш. Анализ сохранности государственных защитных лесных полос на территории Ростовской области по данным дистанционного зондирования Земли. Геодезия и картография. 2025. Т. 86. № 3. С. 26-36.

9. Нарожняя А. Г., Чендев Ю. Г. Изучение современного экологического состояния лесных полос с использованием ГИС и ДДЗ. ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. № 2. С. 54-65.

10. Беляев А. И. и др. Создание долговечных полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири: методические рекомендации. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 36 с.

11. Барабанов А. Т. и др. Методические рекомендации по проектированию и созданию противоэрозионных защитных лесонасаждений на расчетной основе. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2025. 92 с.

12. Здорнов И. А., Нагимов З. Я., Капралов А. В. Изменение скоростей ветрового потока в системе "защитная полоса – автодорога" в условиях Северного Казахстана. Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 3. С. 33-47.

13. Кулик К. Н., Танюкевич В. В., Кулик А. К. Мелиоративная эффективность полезащитных лесных полос с участием Prunusarmeniacal. в Ростовской области. Лесотехнический журнал. 2026. Т. 16. № 1 (61). С. 37-51.

14. Примаков Н. В., Танюкевич В. В. Лесохозяйственные мероприятия в полезащитных лесных полосах Краснодарского края. Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 4 (400). С. 185-192.

15. Costa M. et al. Biological Legacies and Rockfall: The Protective Effect of a Windthrown Forest. Forests. 2021. V. 12 (9). Art. 1141.

References

1. Grosheva O. A. Development of scientific foundations for rational land use and sustainable development of the steppe and forest-steppe regions of Russia in the 18th-21st centuries: a periodization experience. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2019. No 11. Pp. 35-39.

2. Sinelnikova K. P. Assessment of the state of agrolandscapes of the Don ridge using GIS technologies and space images. Advances in Modern Natural Science. 2022. No 6. Pp. 21-26.

3. Vasilchenko A. A. Spatial analysis of the infrastructure of irrigated fields of the Volga-Akhtuba floodplain in the Volgograd region. Scientific and Agronomical Journal. 2022. No 4 (119). Pp. 12-18.

4. Doroshenko V. V. Dependence of winter crop vegetation on relief and soils in the east of Stavropol region. Earth Research from Space. 2023. No 5. Pp. 71-84.

5. Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. W. Remote sensing and image interpretation. 2015. 736 p.
6. Antonov S. A. Analysis of the spatial location of protective forest plantations based on geoinformation technologies and Earth remote sensing data. InterCarto. InterGIS. 2020. Vol. 26. No 2. Pp. 408-420.
7. Balynova V. V. Geoinformation analysis of the safety parameters of protective forest plantations in the Kotelnikovsky district of the Volgograd region. Scientific and Agronomical Journal. 2022. No 4 (119). Pp. 66-71.
8. Vypritsky A. A., Matveyev Sh. Analysis of the integrity of State Protective Forest Belts in the Rostov region based on Earth remote sensing data. Geodesy and Cartography. 2025. Vol. 86. No 3. Pp. 26-36.
9. Narozhnaya A. G., Chendev Yu. G. Study of the current ecological state of forest shelterbelts using GIS and remote sensing. InterCarto. InterGIS. 2020. Vol. 26. No 2. Pp. 54-65.
10. Belyaev A. I. et al. Creation of long-lasting shelterbelts in the south of Western Siberia: methodological recommendations. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2022. 36 p.
11. Barabanov A. T. et al. Methodological recommendations for the design and creation of anti-erosion protective forest plantations on a calculation basis. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2025. 92 p.
12. Zdornov I. A., Nagimov Z. Ya., Kapralov A. V. Change of wind flow velocities in the "protective strip – highway" system in the conditions of Northern Kazakhstan. Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry. 2020. No 3. Pp. 33-47.
13. Kulik K. N., Tanyukevich V. V., Kulik A. K. Meliorative efficiency of protective forest strips with the participation of Prunusarmeniacal. in the Rostov region. Forestry Journal. 2026. Vol. 16. No 1 (61). Pp. 37-51.
14. Primakov N. V. Forestry measures in the protective forest belts of the Krasnodar Region. News of higher educational institutions. Forest magazine. 2024. No 4 (400). Pp. 185-192.
15. Costa M. et al. Biological Legacies and Rockfall: The Protective Effect of a Windthrown Forest. Forests. 2021. V. 12 (9). Art. 1141.

Информация об авторах
Болгов Иван Александрович, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН) (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), SPIN-код: 5968-0502; AuthorID: 1211253; ORCID: 0009-0003-3174-6382, e-mail: bolgov-ia@vfanc.ru
Балынова Вера Васильевна, инженер-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН) (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), SPIN-код: 3289-0348; AuthorID: 1161266; ORCID: 0000-0002-0189-5067, e-mail: balinova-v@vfanc.ru

Author's Information
Bolgov Ivan Aleksandrovich, Junior Researcher, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskii Ave., 97), SPIN-code of the author: 5968-0502; AuthorID: 1211253; ORCID: 0009-0003-3174-6382, e-mail: bolgov-ia@vfanc.ru
Balynova Vera Vasilevna, Research Engineer, Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskii Ave., 97), SPIN-code of the author: 3289-0348; AuthorID: 1161266; ORCID: 0000-0002-0189-5067, e-mail: balinova-v@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-28

THE X-RAY ASSESSMENT OF THE SEA BUCKTHORN (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES* L.) VARIOUS GEOGRAPHICAL ORIGIN SEEDS GERMINATION

Vinogradov V. A., Solonkin A. V.

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

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

Received 19.03.2026 Submitted 20.04.2026

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. Micro-focus digital radiography is a powerful tool for the seed production of woody and shrub species, which can significantly optimize breeding processes and improve the quality of planting material. Thanks to the exceptional specification of the X-ray images, experts can carefully examine the seeds, identifying even microscopic defects that produce a negative effect on their germination and survival. It allows conducting strict selection of the most viable seeds for further propagation, ultimately leading to the creation of more sustainable and productive forest ecosystems. **Objects.** The objects of the study were seeds and seedlings of *Hippophae rhamnoides* L. of various geographical origin which were analyzed using digital X-ray images. **Materials and methods.** The seeds of *Hippophae rhamnoides* L. were collected in various regions of our country in 2024: Republic of Dagestan (Samur River floodplain), Samara Region (Volga Region Agroforestry Experimental Station), Altai Region. The research was conducted at the laboratory of

breeding, seed production, and nursery production at the FRC for Agroecology of the RAS. **Results and conclusions.** No defects or damage was detected during the visual assessment of seeds' quality, but X-ray analysis revealed 9 to 23 % of seeds with the following recorded damages: shell detachment, non-viability, injury or absence of the embryo, hidden infestation and/or damage caused by insects, cracking, and shrunkenness. The germination rate of the seeds ranged from 76 % to 84 %. Seeds with the damage 50 % or more were not viable, and seeds with 30-50 % damage were delayed in development, had damage on the cotyledon leaves, and developed unevenly. Well-developed seeds showed the best germination, integrity, and development of the sprouts.

Keywords: *Hippophae rhamnoides* L.*, sea buckthorn, sea buckthorn seed germination, digital radiography, and seed production of shrub species.*

Citation. Vinogradov V. A., Solonkin A. V. The X-ray assessment of the Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) various geographical origin seeds germination. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 250-260 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-28.
Authors' contribution. All authors of this research paper have taken direct part 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 634.743+631.53.01

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ (*HIPPOPHAE RHAMNOIDES* L.) РАЗЛИЧНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Виноградов В. А., *аспирант, инженер-исследователь*
Солонкин А. В., *доктор сельскохозяйственных наук*

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

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

Актуальность. Микрофокусная цифровая рентгенография является мощным инструментом для семеноводства древесных и кустарниковых пород, способным значительно оптимизировать селекционные процессы и повысить качество посадочного материала. Благодаря исключительной детализации рентгеновских изображений, специалисты могут тщательно изучать семена, идентифицируя микроскопические изъяны, негативно влияющие на их прорастание и выживаемость. Это позволяет проводить строгий отбор наиболее жизнеспособных семян для дальнейшего размножения, что в конечном итоге приводит к созданию более устойчивых и продуктивных лесных экосистем. **Объекты исследования.** В качестве объектов исследования были выбраны семена, сеянцы *Hippophae rhamnoides* L. различного географического происхождения, которые анализировались с помощью цифровых рентгеновских снимков. **Материалы и методы.** Семена *Hippophae rhamnoides* L. были собраны в 2024 году в различных регионах нашей страны: Республика Дагестан (пойма реки Самур), Самарская область (Поволжская АГЛОС), Алтайский край. Исследования проводились на базе лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН. **Результаты и выводы.** При визуальной оценке качества семян не было обнаружено дефектов и повреждений, но в результате рентгенографического анализа было выявлено от 9 до 23 % семян со следующими зафиксированными повреждениями: отслоение оболочки, невыполненность, травмированность или отсутствие зародыша, скрытая зараженность и/или поврежденность вредителями, трещиноватость, щуплость. Всхожесть семян варьировалась от 76 до 84 %. Семена, у которых наблюдалось повреждение на 50 % и более не обладали жизнеспособностью, а семена с наличием повреждения от 30-50 % отставали в развитии, имели повреждения на семядольных листьях, неравномерно развивались. Хорошо выполненные семена продемонстрировали наилучшую всхожесть, целостность и выполненность ростков, из таких семян были получены крепкие и здоровые сеянцы.

Ключевые слова: *Hippophae rhamnoides L., облепиха крушиновидная, всхожесть семян облепихи, цифровая рентгенография, семеноводство кустарниковых пород.*

Цитирование. Виноградов В. А., Солонкин А. В. Рентгенографическая оценка всхожести семян облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) различного географического происхождения. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 250-260. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-28.

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. Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) является кустарником или небольшим деревцем, которое используют в защитном лесоразведении, озеленении ландшафтов (ландшафтном дизайне), а также в промышленно-продовольственных целях. Данный кустарник обладает высоким потенциалом для использования в агролесомелиорации благодаря своей засухо-, пыле- и солеустойчивости, а также обладает такими преимуществами, как высокая корнеотпрысковая способность, адаптационный потенциал, обогащение и улучшение характеристик почв благодаря азотофиксирующей способности.

Метод микрофокусной цифровой рентгенографии позволяет, не нарушая структуры семени, изучить его содержимое и определить качество семян выбранной партии. Преимуществами данного метода является его быстрота, практичность, удобство использования; после завершения рентгенографического испытания семена остаются неповреждёнными и готовы к последующей работе с ними. Метод был не раз описан отечественными учёными, в роли объектов исследования были использованы семена древесных [2, 4, 11, 12], полевых [13], овощных [3], плодовых [6] и ягодных культур [7, 10].

Традиционные методы оценки качества семян часто наносят им необратимый ущерб, что делает невозможным их дальнейшее изучение в лабораторных и полевых условиях. В этом контексте мягко лучевая рентгенография представляет собой перспективный неразрушающий инструмент. Она позволяет детально рассмотреть внутреннюю структуру семян, выявить различные аномалии и понять, как эти скрытые дефекты влияют на биологические свойства. Уникальность метода заключается в его способности не только обнаруживать дефекты, но и оценивать их потенциальное влияние на жизнеспособность и продуктивность растений, что затем можно подтвердить, сравнивая рентгенограммы с результатами выращивания потомства [3].

Целью данного исследования являлась оценка адаптационного потенциала посредством определения качества семян облепихи крушиновидной различных экотипов неразрушающим способом.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. Проведение анализа всхожести, энергии прорастания, оценка качества семенного материала облепихи крушиновидной *(Hippophae rhamnoides* L.) различного географического происхождения с применением микрофокусного цифрового рентгенографического метода.

2. Проращивание проверенных семян в контролируемых условиях, для качественного анализа микрофокусного цифрового рентгенографического метода.

3. Выращивание сеянцев из проверенных семян, проведение учетов и наблюдений в течение вегетационного периода.

Материалы и методы. Исследования семян облепихи крушиновидной проводилось с помощью метода цифровой рентгенографии на базе Федерального научного центра агроэкологии РАН селекционно-семеноводческого центра в лабораториях селекции, семеноводства и питомниководства и биотехнологии.

Семена собраны в естественных популяциях в следующих географических точках: Республика Дагестан пойма реки Самур, Алтайский край, Самарская область (Поволжская АГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН).

Исследование проводилось в 2024-2025 гг. На 6 образцах были отобраны по 2 варианта каждого географического происхождения, по 50 семян каждого варианта. Рентгенографические исследования проводились с помощью мобильного рентгенодиагностического комплекса ПРДУ-02. Для осуществления метода были подобраны следующие показатели рентгенографической съёмки: интенсивность излучения, напряжение в (кВ) и временная экспозиция (сек) – 50 кВ/1 сек с максимальным коэффициентом увеличения 8,3.

Рентгенографический анализ проводился в соответствии с ГОСТ Р 59603-2021. Семена размещались по 50 штук на карточке, состоящей из твёрдой рамки и липкой основы в виде скотча. С помощью программного обеспечения комплекса ПРДУ-2 были измерены морфологические параметры семян – длина, ширина каждого.

По завершении проведения рентгенографических испытаний семена были помещены в контейнеры с песком, с сохранением исходной последовательности. Проводились лабораторные испытания на всхожесть при контролируемых условиях. Далее проводился учёт всхожести и энергии прорастания согласно ГОСТ 13056.6-97 «Семена деревьев и кустарников метод определения всхожести». Семена облепихи крушиновидной не нуждаются в предварительной подготовке перед проращиванием, поэтому посев осуществлялся сразу после проверки. Результаты всходов соотносились с полученными рентгенографическими снимками. Затем проростки были помещены в специализированные кассеты для выращивания рассады в определённой последовательности, такой же, как и на рентгенографическом анализе. В течение всего вегетационного периода велись регулярные наблюдения, фиксировался прирост и диаметр побегов. По окончании вегетационного периода, на территории Нижневолжской станции по селекции древесных и кустарниковых пород (г. Камышин) сеянцы были пересажены в кассеты с бóльшим объёмом для дальнейшего изучения, анализировались биометрические показания сеянцев (размер корневой системы, прирост).

Результаты и обсуждение. Семена *Hippophae rhamnoides* L. – тёмно-коричневые или почти чёрные блестящие орешки с продольной бороздкой на одной стороне длиной от 3,5-5,2 мм, шириной 1,4-3,1. Внутри плода развивается одно семя.

Окраска семян (от серовато-бурой до темно-коричневой, почти черной) зависит от различного содержания дубильных веществ и темноокрашенных пигментов в семенных покровах. По форме они продолговато-округлые, в поперечном сечении эллипсовидные. Семена в длину достигают 4-7 мм, в ширину – 2,5-3,5 и в толщину – 1,6-2,2 мм. Абсолютная масса 1000 семян в воздушно-сухом состоянии – 14-19 г. (Б. С. Ермаков, В. В. Фаустов. Технология выращивания облепихи. – М.: Россельхозиздат, 1983. – 63 с.).

В таблице 1 приведены морфометрические показатели семян растения Hippophae rhamnoides L. Представлены данные по образцам семян из разных географических регионов, а именно: Республика Дагестан (пойма реки Самур), Алтайский край и Поволжская АГЛОС. Показатели включают: массу 1000 семян в граммах для каждого региона, длину семян (мм) – минимальное и максимальное значение длины (min-max), а также среднее значение с ошибкой среднего (x±m), ширину семян (мм) – минимальное и максимальное значение ширины (min-max), и среднее значение с ошибкой среднего (x±m). Для образца из Дагестана масса 1000 семян – 10,7 г, длина варьируется от 3,5 до 5,0 мм, среднее значение длины – 4,5 ± 0,036 мм, ширина – от 1,5 до 3,1 мм, средняя ширина 1,9 ± 0,032 мм. Таким образом, данные приведенные в таблице 1, позволяют сравнить морфометрические параметры семян облепихи из разных регионов по массе, длине и ширине с учётом вариабельности и точности измерений.

Таблица 1 – Морфометрические показатели семян *Hippophae rhamnoides* L.
Table 1 – Morphometric parameters *of Hippophae rhamnoides* L. seeds

№ образца / Sample No	Географическое происхождение / Geographical origin	Показатели / Indicators				
		Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g	Длина, мм / Length, mm		Ширина, мм / Width, mm	
			(min-max)	(x±m)	(min-max)	(x±m)
№ 1	Республика Дагестан, пойма реки Самур / Republic of Dagestan, Samur River floodplain	10,7	3,5-5,0	4,5±0,036	1,5-3,1	1,9±0,032
№ 2			3,9-5,1	4,5±0,039	1,4-2,4	1,9±0,026
№ 3	Алтайский край / Altai Region	13,6	3,4-4,9	4,3±0,049	1,6-2,5	2,0±0,025
№ 4			3,3-5,2	4,3±0,057	1,8-2,7	2,1±0,03
№ 5	Самарская область, Поволжская АГЛОС / Samara Region, Volga AGLO	16,3	3,9-5,0	4,6±0,028	1,9-2,7	2,4±0,022
№ 6			4,3-5,2	4,7±0,031	2,0-2,8	2,4±0,024

Примечание: x – среднее значение, m – ошибка среднего.
Note: x – average, m – mean error.

На рисунке 1 представлены внешний вид семян и результаты рентгенографического исследования. На рисунках 1 а, 1 в, 1 д заметно отличие по форме, окраске и размеру семян, так, семена с происхождением Республики Дагестан имеют самую тёмную окраску, а семена из Алтайского края отличаются самой светлой окраской.

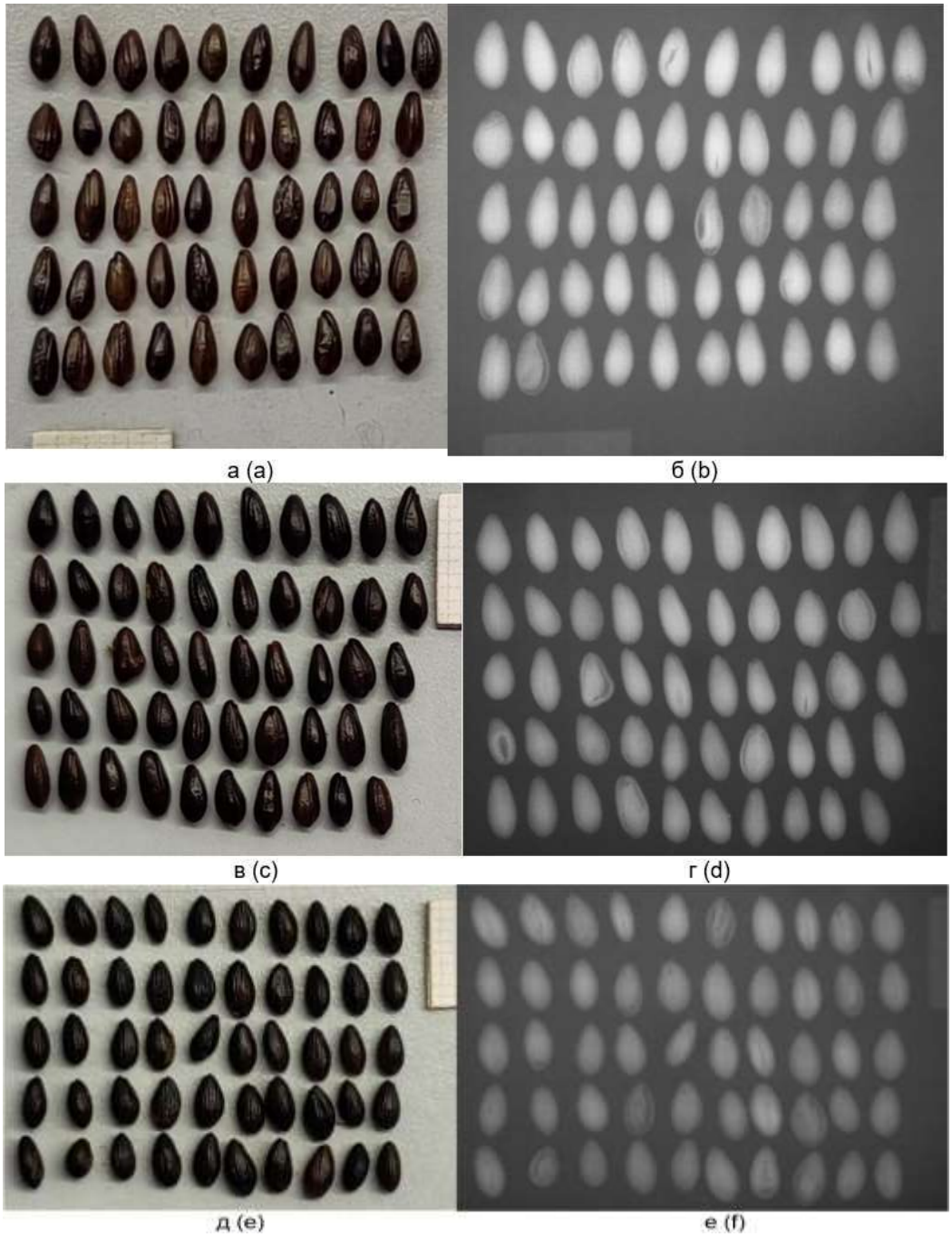


Рисунок 1 – Внешний вид семян *Hippophae rhamnoides* L.:
а – Алтайский край, в – Поволжская АГЛОС, д – Республика Дагестан (пойма реки Самур);
Снимки микрофокусной рентгеноскопии семян *Hippophae rhamnoides* L.: б – Алтайский край,
г – Самарская область (Поволжская АГЛОС), е – Республика Дагестан (пойма реки Самур)
Figure 1 – Appearance of *Hippophae rhamnoides* L. seeds: a – Altai Territory, c – Volga region agroforestry experimental station, e – Republic of Dagestan (Samur River floodplain); Microfocus X-ray images of *Hippophae rhamnoides* L. seeds: b – Altai Territory, d – Samara region (Volga Region Agroforestry Experimental Station), f – Republic of Dagestan (Samur River floodplain)

Морфометрические различия между семенами могут быть вызваны генетическими особенностями, климатическими, экологическими факторами. Наблюдаемые различия в морфометрических характеристиках семян (длина, ширина и вес) обусловлены комплексом абиотических и биотических факторов. В частности, климатические условия Поволжья, характеризующиеся теплой континентальностью, способствуют формированию более крупных и тяжелых семян. Более суровый и прохладный климат северных и горных районов

Алтая коррелирует с меньшим размером семян. Генетическая изменчивость между популяциями может быть значимым фактором, определяющим размер и вес семян. Мы выдвигаем гипотезу, что оптимальные условия для роста и развития растений в Поволжье являются ключевым фактором, объясняющим превосходство местных семян по размеру и весу. Семена из Дагестана более мелкие и легкие, что оказывается результатом особенностей, как местного климата, так и экологическими условиями. Алтайский край занимает промежуточное положение. Полученные при проведении исследования данные важны для селекции, проведения мероприятий по выращиванию посадочного материала, а также для оценки уровня адаптации растений к различным условиям окружающей среды.

Приведенные в таблице 2 показатели демонстрируют морфологические и качественные характеристики семян *Hippophae rhamnoides* L., полученных из трех регионов России: Республики Дагестан (пойма реки Самур), Алтайского края и Самарской области (Поволжская АГЛОС).

Таблица 2 – Результаты измерений семян *Hippophae rhamnoides* L.
Table 2 – Measurement results for *Hippophae rhamnoides* L. seeds

№ п/п	Показатель / Indicator	Доля повреждённых семян разного географического происхождения, % / Share of damaged seeds of different geographical origin, %		
		Республика Дагестан (пойма реки Самур) / Republic of Dagestan (Samur River floodplain)	Алтайский край / Altai region	Самарская область (Поволжская АГЛОС) / Samara region (Volga region AGLOC)
1	Семена без дефектов / Seeds without defects	89	91	77
2	Щуплость / Thinness	5	2	7
3	Трещиноватость / Cracks	0	1	1
4	Скрытая зараженность и/или повреждённость насекомыми / Hidden infestation and/or damage by insects	1	1	1
5	Травмированность или отсутствие зародыша / Damage or absence of the embryo	3	2	1
6	Невыполненность / Failure to fulfill	0	1	8
7	Отслоение оболочки / Peeling of the shell	2	2	5

В таблице представлено распределение семян на здоровые и дефектные, с указанием вида дефекта: повреждение, невыполненность, щуплость и др. (рисунок 2).

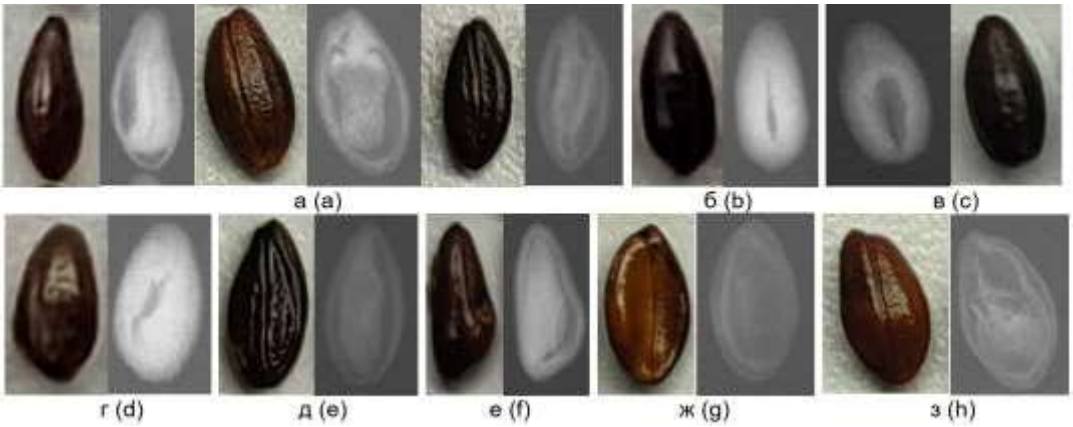


Рисунок 2 – Виды повреждений, выявленные в образцах: а – щуплость, б – травмированность зародыша, в – отсутствие зародыша, г – трещиноватость, д – отслоение от оболочки, е – деформация семени, отслоение от оболочки, ж – невыполненность, з – скрытая заражённость
Figure 2 – Types of damage identified in the samples: a – shrunkenness, b – embryo injury, c – absence of an embryo, d – cracks, e – detachment from the shell, f – deformation of the seed, detachment from the shell, g – failure, h – hidden infection

Причиной повреждения семян может быть как воздействие насекомых, птиц, так и микробиологическое повреждение. В Республики Дагестан (пойма реки Самур), где влажность выше, выявленные повреждения скорей всего имеют грибковую этиологию – климат способствует развитию патогенов. В Алтайском крае, где климат суше и прохладнее, чаще наблюдаются механические повреждения, а также повреждения, вызванные заморозками.

Невыполненные семена – это семена, которые не достигли полной зрелости и оказались либо пустыми, либо слабо развитыми. Высокий процент таких семян в Поволжье можно объяснить рядом следующих ключевых факторов. Климат Поволжья континентальный, с резкими колебаниями температуры и недостаточным количеством влаги в период формирования плодов. Стресс от засухи и высоких температур может приводить к неполному развитию и формированию семян. Следует учесть и особенности опыления – варьирующие погодные условия нередко нарушают сроки и эффективность опыления, снижая завязь и качество семян. Кроме того, имеет место генетический и экологический стресс – Поволжье находится на границе ареала произрастания облепихи, что провоцирует стресс, и семена часто остаются невыполненными. Примером могут являться невыполненные семена с данного объекта в настоящем исследовании.

Проростки подсчитывались на 7, 10, 15 и 20 сутки. Сроки энергии прорастания – 10 суток, всхожесть фиксировалась на 25 сутки, результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Количественные показатели процесса проращивания семян *Hippophae rhamnoides* L.
Table 3 – Quantitative indicators of seed germination of *Hippophae rhamnoides* L.

Географическое происхождение / Geographical origin	Вариант / Option	Энергия прорастания, % / Germination Energy, %		Всхожесть, % / Germination, %	
		По вариантам / By options	среднее / average	По вариантам / By options	среднее / average
Республика Дагестан, пойма реки Самур / Republic of Dagestan, Samur River floodplain	1	84	68	88	80
	2	52		72	
Алтайский край / Altai Region	1	42	55	82	84
	2	68		86	
Самарская область (Поволжская АГЛОС) / Samara Region (Volga Region AGLOC)	1	28	32	74	76
	2	36		78	
НСР			0,93		0,6

При проращивании 6 проб по 50 семян в каждой проросло 44, 36, 38, 42, 35, 37 семян, что при вычислении процента всхожести соответствует 88, 72, 82, 86, 70, 74 %, а средняя всхожесть по различным вариантам географического происхождения следующая: Дагестан – 80 %, Алтайский край – 84 %, Самарская область (Поволжская АГЛОС) – 76 %.

В таблице 3 приведены данные двух важных показателей прорастания семян облепихи из разных географических регионов, а именно: энергия прорастания (%) и всхожесть (%). Для каждого региона представлены результаты двух вариантов опытов, а также средние значения.

Рисунок 3 – Проростки семян *Hippophae rhamnoides* L. различного географического происхождения:
а – Республика Дагестан (пойма реки Самур), б – Алтайский край,
в – Самарская область (Поволжская АГЛОС)
Figure 3 – Seedlings of *Hippophae rhamnoides* L. of different geographical origin:
a – Republic of Dagestan (Samur River floodplain), b – Altai Region,
c – Samara Region (Volga Region Agroforestry Experimental Station)

На рисунке 3 изображены результаты прорастания семян. Семена из Дагестана продемонстрировали высокие показатели всхожести и энергии прорастания, указывающие на хорошее качество семян и оптимальные условия прорастания.

Семена, ареал происхождения которых – Алтайский край, продемонстрировали высокую всхожесть (84 %), однако энергия прорастания у них ниже, чем у семян из Дагестана, что указывает на медленное и менее интенсивное прорастание.

Сравнительный анализ показал, что семена из Самарской области (Поволжской АГЛОС) показали самые низкие показатели энергии прорастания и всхожести по сравнению с другими регионами, что подтверждает более низкое качество семян. Семена из Дагестана продемонстрировали наилучшие показатели энергии прорастания, что свидетельствует о их высокой жизнеспособности. Наивысшая всхожесть у семян из Алтайского края, несмотря на их сравнительно низкую энергию прорастания. В Поволжском регионе отмечена существенно низкая энергия прорастания и всхожести, причиной чего являются более сложные экологические условия, что, в результате, и объясняет более высокое количество невыполненных семян.

Начало формирования первых пар настоящих листьев отмечается спустя 14 дней с момента появления всходов. По окончании третьей недели с момента прорастания растения демонстрируют наличие двух-трех пар настоящих листьев. По истечении 11 недель вегетации сеянцы достигли 20 см высоты, а спустя 14 недель достигли высоты 30 см. Наглядный результат прорастания семян, а также дальнейшие этапы развития сеянцев *Hippophae rhamnoides* L. можно увидеть в отчете, представленном на рисунке 4.

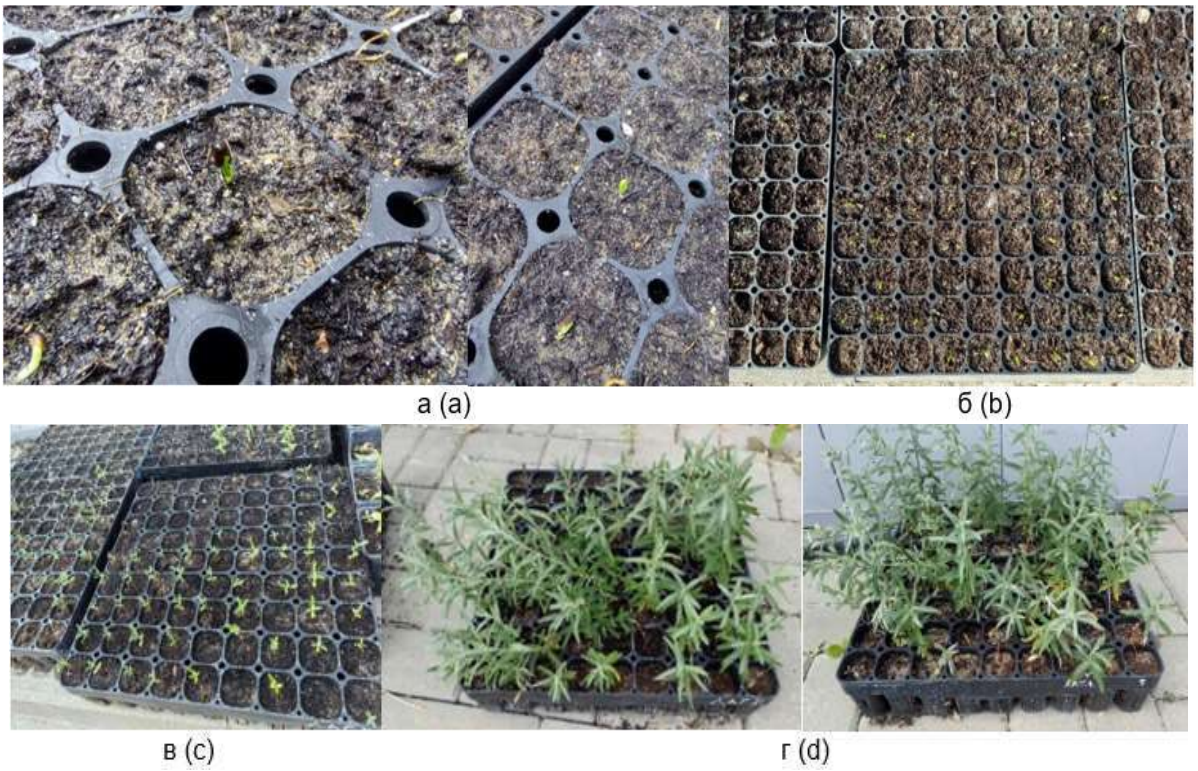


Рисунок 4 – Динамика развития сеянцев *Hippophae rhamnoides* L.
а – всходы на 7 день, б – всходы на 10 день, в – появление 2-3 настоящих листьев – 15 день,
г – внешний вид сеянцев спустя 11 недель вегетации
Figure 4 – Dynamics of seedling development of *Hippophae rhamnoides* L.
a – germination on day 7, b – germination on day 10, c – appearance of 2-3 true leaves on day 15,
and d – appearance of seedlings after 11 weeks of vegetation

Проведенное исследование позволило получить качественные образцы сеянцев, изображение которых представлено на рисунке 5.

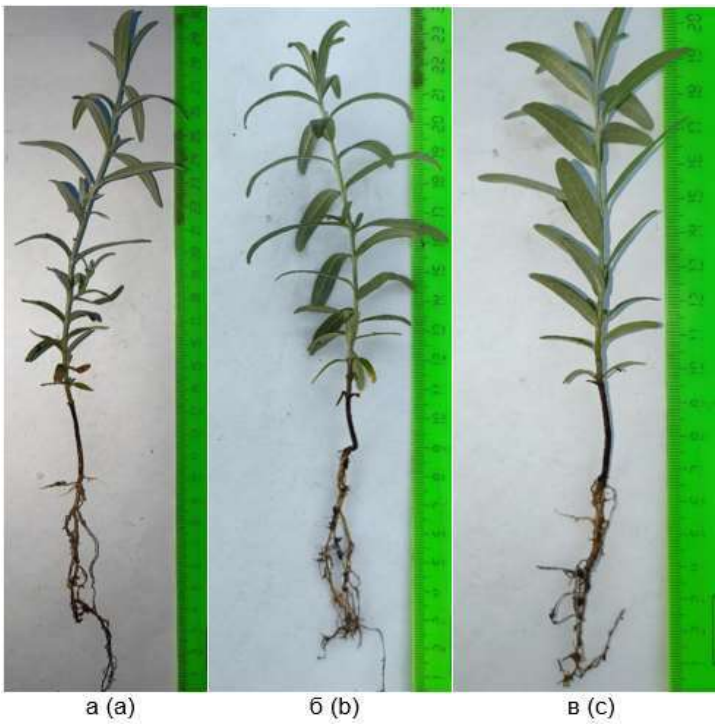


Рисунок 5 – Сеянцы *Hippophae rhamnoides* L. различного географического происхождения: а – республика Дагестан, б – Алтайский край, в – Самарская область
Figure 5 – Seedlings of *Hippophae rhamnoides* L. of various geographical origin: a – Republic of Dagestan, b – Altai Region, c – Samara Region

Выводы. Функциональный, незаменимый и современный метод цифровой рентгенографии позволил оценить качество и определить наличие дефектов семян, которые невозможно определить визуально.

Результаты опытов по проращиванию семян *Hippophae rhamnoides* L. подтверждают значимость метода цифровой рентгенографии. При сопоставлении результатов всхожести семян и наличия скрытых дефектов было выявлено их влияние на рост и развитие сеянцев.

При повреждении семян на 50 % и более семена не обладают жизнеспособностью, а повреждения от 30 до 50 % оказывают существенное негативное влияние на рост и развитие сеянцев облепихи крушиновидной.

Повреждения семян вредителями или болезнями также оказывали негативное влияние на развитие сеянцев. Сеянцы были слаборазвитые, с неполноценно выполненными, деформированными частями.

Проведённая оценка адаптационных способностей показала – географическое происхождение оказывает влияние на качественные показатели семян облепихи. Адаптационную способность семян облепихи крушиновидной необходимо учитывать при селекционных работах и лесомелиоративной практике.

Conclusions. The functional, irreplaceable and modern method of digital radiography allowed assessing the quality and determining the presence of defects of seeds that cannot be determined visually.

The results of the experiments on germination of seeds of *Hippophae rhamnoides* L. confirm the significance of the method of digital radiography. When the results of seed germination and the presence of hidden defects were compared, their influence on the growth and development of seedlings was revealed.

When the seeds are damaged by 50 % or more, they are not viable, and damage between 30 % and 50 % has a significant negative impact on the growth and development of sea buckthorn seedlings.

Damage to the seeds by pests or diseases also had a negative effect on the development of the seedlings. The seedlings were underdeveloped, with incomplete and deformed parts.

The assessment of the adaptability showed that the geographical origin has an impact on the quality of sea buckthorn seeds. The adaptation capacity of sea buckthorn seeds should be taken into account in breeding work and forest reclamation practices.

Библиографический список

1. Крючков С. Н., Солонкин А. В., Соломенцева А. С. Селекционное семеноводство для защитного лесоразведения: монография. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 364 с.
2. Гричик Е. Л. и др. Рентгенографический анализ семенного материала древесных и кустарниковых видов, перспективных в защитном лесоразведении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 211-223.
3. Мусаев Ф. Б., Потрахов Н. Н., Архипов М. В. Рентгенография семян овощных культур. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина), 2016. 207 с.
4. Гричик Е. Л., Жолобова О. О., Крючков С. Н. Рентгенографическое исследование семян древесной породы Ulmus pumila L. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 218-228.
5. Архипов М. В., Потрахов Н. Н. Микрофокусная рентгенография семян в селекции, семеноводстве и защите растений. IV Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: материалы международной научно-практической конференции. Луга: Ленинградский государственный университет им. А. С. Пушкина, 2016. С. 53-55.
6. Безух Е. П., Потрахов Н. Н., Бессонов В. Б. Применение метода микрофокусной рентгенографии для контроля качества семян плодовых культур. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. Вып. 89. С. 106-112.
7. Безух Е. П., Потрахов Н. Н. Рентгенография семян в селекции ягодных культур. Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019. № 133. С. 143-149.
8. Дерунов И. В. Рентгенографическое исследование семян различных сельскохозяйственных культур и продуктов их переработки: диссертация. СПб., 2004. 116 с.
9. Ермаков Б. С., Фаустов В. В. Технология выращивания облепихи. М.: Россельхозиздат, 1983. 63 с
10. Безух Е. П. Использование мягколучевой рентгенографии для оценки качества семян земляники. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 1 (98). С. 124-133.
11. Архипов М. В. и др. Методика микрофокусной рентгенографии для выявления скрытой дефектности семян древесных лесных пород и других видов сосудистых растений. Журнал технической физики. 2020. Т. 90. № 2. С. 338-346.
12. Архипов М. В., Прияткин Н. С., Бондаренко А. С. Применение методов мягколучевой рентгенографии и газоразрядной визуализации для оценки качества семян ели европейской. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2013. № 31. С. 62-67.
13. Александрова В. А. Инновационные методы микрофокусной рентгенографии и гиперспектральной визуализации при идентификации и выявлении скрытых дефектов семян масличных культур. Шаг в науку: сборник тезисов докладов отчетной научно-практической конференции. Москва: Российский экономический университет имени Г В. Плеханова, 2025. С. 12-18.
14. Zeb A. Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. turkestanica) Seeds: Chemical and Physicochemical Properties. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. Academic Press, 2011. Chapter 119. Pp. 1003-1010.
15. Gupta S. M., Pandey P., Grover A., Ahmed Z. Breaking seed dormancy in *Hippophae salicifolia*, a high value medicinal plant. Physiol Mol Biol Plants. 2011. No 17. Pp. 403-406.
16. Singh V., Gupta K. R. Propagation of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). Sea buckthorn (Hippophae L.): a multipurpose wonder plant. New Delhi, 2003. Pp. 315-333.
17. Zeb A., Malook I. (2009). Biochemical characterization of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. turkestanica) seed. Afr. J. Biotech. 2009. V. 8. Pp. 1625-1629.

References

1. Kryuchkov S. N., Solonkin A. V., Solomentseva A. S. Selectional Seed Production for Protective Afforestation: monograph. Volgograd: FSC of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2024. 364 p.
2. Gritchik E. L. et al. X-ray Analysis of Seed Material of Woody and Shrub Species Promising for Protective Afforestation. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 4 (72). Pp. 211-223.
3. Musaev F. B., Potrakhov N. N., Arkhipov M. V. X-ray of vegetable crops seeds. Saint Petersburg: Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V. I. Ulyanov (Lenin), 2016. 207 p.
4. Gricik E. L., Zholobova O. O., Kryuchkov S. N. X-ray study of the seeds of the Ulmus pumila L. tree species. Izvestiya of the Nizhny Novgorod Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 5 (83). Pp. 218-228.
5. Arkhipov M. V., Potrakhov N. N. Microfocus X-ray seed analysis in breeding, seed production, and plant protection. IV Luga Scientific Readings. Modern Scientific Knowledge: Theory and Practice: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Luga: Leningrad State University named after A. S. Pushkin, 2016. Pp. 53-55.
6. Bezukh E. P., Potrakhov N. N., Bessonov V. B. Application of the Microfocus X-Ray Technique for Quality Control of Fruit Crop Seeds. Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Products. 2016. Issue 89. Pp. 106-112.
7. Bezhukh E. P., Potrakhov N. N. X-ray seed analysis in the breeding of berry crops. Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden. 2019. No 133. Pp. 143-149.
8. Derunov I. V. X-ray examination of seeds of various crops and their processing products: dissertation. St. Petersburg, 2004. 116 p.
9. Ermakov B. S., Faustov V. V. Technology of sea buckthorn cultivation. Moscow: Rosselkhozizdat, 1983. 63 p.
10. Bezukh E. P. Use of soft-ray X-ray for assessing the quality of strawberry seeds. Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products. 2019. No 1 (98). Pp. 124-133.
11. Arhipov M. V. et al. Technique of microfocus X-ray for revealing hidden defectiveness of seeds of woody forest species and other types of vascular plants. Journal of Technical Physics. 2020. Vol. 90. No 2. Pp. 338-346.
12. Arhipov M. V., Priyatkin N. S., Bondarenko A. S. Application of soft-ray X-ray and gas-discharge imaging methods for the assessment of the quality of European spruce seeds. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2013. No 31. Pp. 62-67.

13. Aleksandrova V. A. Innovative methods of microfocus radiography and hyperspectral imaging in the identification and detection of hidden defects in oilseeds. Step into science: a collection of abstracts of reports of the reporting scientific and practical conference. Moscow: Russian University of Economics named after G. V. Plekhanov, 2025. Pp. 12-18.

14. Zeb A. Sea Buckthorn (Hippophae rhamnoides L. ssp. turkestanica) Seeds: Chemical and Physicochemical Properties. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. Academic Press, 2011. Chapter 119. Pp. 1003-1010.

15. Gupta S. M., Pandey P., Grover A., Ahmed Z. Breaking seed dormancy in Hippophae salicifolia, a high value medicinal plant. Physiol Mol Biol Plants. 2011. No 17. Pp. 403-406.

16. Singh V., Gupta K. R. Propagation of sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.). Sea buckthorn (Hippophae L.): a multipurpose wonder plant. New Delhi, 2003. Pp. 315-333.

17. Zeb A., Malook I. (2009). Biochemical characterization of sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L. ssp. turkestanica) seed. Afr. J. Biotech. 2009. V. 8. Pp. 1625-1629.

Информация об авторах

Виноградов Василий Андреевич, аспирант, инженер-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), ORCID: 0009-0009-7004-5048, e-mail: vinogradov-v@vfanc.ru

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

Authors' Information

Vinogradov Vasily Andreevich, Postgraduate Student, Research Engineer, Federal Research Centre for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97), ORCID: 0009-0009-7004-5048, e-mail: vinogradov-v@vfanc.ru

Solonkin Andrey Valeryevich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher Engineer, Federal Research Centre for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Avenue, 97), ORCID: 0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-29

THE EFFECT OF THE BIOLOGICAL PREPARATIONS WITH SULFUR AND BORON CONTENT ON THE SPRING BARLEY VARIETIES PHOTOSYNTHETIC POTENTIAL AND YIELD IN THE CONDITIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

Guzenko A. Yu., Solonkin 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-ay@vfanc.ru

Received 22.12.2025 Submitted 12.02.2026

The research was conducted within the framework of the state assignment FNFE-2025-0009 "Creation of new genotypes, varieties, forms of woody, shrubby, cultivated plants with highly valuable traits of productivity, quality, resistance to bio- and 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 transition of Russian agriculture to market relations aims agricultural producers to solve the problems of increasing the production of categories of agricultural products in demand by the market, including feed grains. The basis of the production process, which determines the formation of a crop, is the photosynthetic activity of plants, therefore, to assess the effectiveness of crop cultivation technologies, the main indicators are used, which are its quantitative component. The purpose of our research was to study the characteristics of photosynthetic productivity of spring barley crops using modern biological preparations with a certain percentage of nutrients SO3 and B. **Object.** Varieties of spring barley from the breeding center of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Medicum 139, Medicum 200, Novonikolaevsky) and modern biological preparations. **Materials and methods.** The process of photosynthesis of spring barley plants was studied using the following methods: Nichiporovich (1955) – determination of the leaf area, photosynthetic potential and net productivity of photosynthesis, etc. The laying of the experimental site was carried out according to the method of B. A. Dospekhov. Mathematical data processing was carried out in the Excel 2024 program. Results and discussions. **Results and conclusions.** The study was conducted in the period 2023-2024 at the experimental site of the village of Gosselekstantsia in the Kamyshinsky district of the Volgograd region. On average, over 2 years of research, the treatment of spring barley varieties with leaf preparations and fertilizer increased the assimilation surface by 12-19 % compared with the control variant. The treatment of crops during the tillering phase increased the leaf area by 6.4-10.2 %. The largest leaf area was formed on variants with joint treatment of plants (with SO_3 and B content) on average for 2023-2024: 39.1-41.2 thousand m^2 /ha. In the experimental

conditions for the entire growing season, "tillering-milk ripeness", the final increase is closely interrelated not only with the genetic potential of the variety, but also with the treatment option with biological preparations. Thus, the Novonikolaevsky variety of spring barley has the highest adaptation to drought and low moisture availability, including an increase in the indicators for micro-fertilizer leaf treatments from B1 (k) throughout the entire period: B2-by 17.6 %; B3 and B4-by 30 %. However, the results between the variants of leaf treatments with SO_3 content and in terms of the purity of photosynthesis production and the dry weight of plants have a slight difference. In conclusion, based on the results of the study, it was found that for this zone, the introduction of leaf treatments into the tillering vase and exit into the tube with SO3 and B content can increase photosynthetic productivity and increase the yield of spring barley varieties by 1.14-135 t/ha in the arid zone of the Kamyshinsky district of the Volgograd region.

Keywords: *spring barley varieties, biological products, barley photosynthetic potential, barley leaf area, dry plant mass, and spring barley yield.*

Citation. Guzenko A. Yu., Solonkin A. V. The effect of the biological preparations with sulfur and boron content on the spring barley varieties photosynthetic potential and yield in the conditions of the Lower Volga region. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 260-271 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-29.

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

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

УДК 633.11"321":631.8(470.44/.47)

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ С СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ И БОРА НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Гузенко А. Ю., *младший научный сотрудник*
Солонкин А. В., *доктор сельскохозяйственных наук*

ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексной мелиорации и защитного лесоразведения РАН»
г. Волгоград, Российская Федерация

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

Аннотация. Трансформация российского агросектора в сторону рыночных механизмов требует от сельхозпроизводителей оптимизации с учетом наращивания производства продукции, соответствующей рыночному спросу, включая фуражное зерно. Основой формирования урожая за последние 50-70 лет является фотосинтетическая деятельность растений, поэтому для оценки эффективности технологии выращивания сельскохозяйственных культур используют количественные показатели. Главным направлением в нашей исследовательской работе было установление степени влияния современных биологических препаратов, содержащих определенное количество SO_3 и B, на продуктивность показателей фотосинтеза сортов ярового ячменя в условиях засушливого климата Нижнего Поволжья. **Объект.** В настоящем исследовании были отобраны современные сорта ярового ячменя селекционного центра ФНЦ агроэкологии РАН: Медикум 139, Новониколаевский и Медикум 200, а также современные биологические препараты. **Материалы и методы.** Изучение процесса фотосинтеза растений ярового ячменя проводилось с использованием следующих методик: А. А. Ничипорович. Закладка опытного участка производилась по методике Б. А. Доспехова. Математическая обработка данных проводилась в программе Excel 2024. **Результаты и выводы.** Исследование проводилось в период 2023-2024 гг на опытном участке п. Госселекстанция Камышинского района Волгоградской области. В ходе двухлетних исследований по адаптивности сортов ярового ячменя и способности усвоения удобрений в фазу стадии кущения способствовала увеличению роста площади листьев в пределах 6,4-10,2 %, а также привело к дальнейшему увеличению ассимиляционной поверхности растений на 12-19 % по сравнению с контролем. Наибольшая площадь листьев формировалась на вариантах с совместной обработкой растений (содержанием SO_3 и B) в среднем за 2023-2024 г: 39,1-41,2 тыс. м^2/га. В условиях опыта за весь вегетационный период «кущение-молочная спелость» конечный прирост тесно взаимосвязан не только с генетическим потенциалом сорта, но и с вариантом обработки биологическими препаратами. Так, наиболее высокую адаптацию к засухе и низкой влагообеспеченности, включая повышение показателей по листовым обработкам микроудобрениями от B1 (к) на протяжении всего периода имеет сорт ярового ячменя Новониколаевский: B2 – на 17,6 %; B3 и B4 – на 30 %. Однако, анализ показал, что различия в показателях фотосинтетической продуктивности и накоплении сухой массы растений между вариантами листовых

подкормок, содержащих SO_3 и B несущественны. Тем не менее, данное исследование позволяет заключить, что применение данных подкормок на стадии кущения и выхода в трубку в условиях засушливой области Нижнего Поволжья способствует увеличению фотосинтетической продуктивности и урожайности сортов ярового ячменя на 1,14-1,35 т/га.

Ключевые слова: *сорта ярового ячменя, биологические препараты, фотосинтетический потенциал ячменя, площадь листьев ячменя, сухая масса растений, урожайность ярового ячменя.*

Цитирование. Гузенко А. Ю. Солонкин А. В. Влияние биологических препаратов с содержанием серы и бора на фотосинтетический потенциал и урожайность сортов ярового ячменя в условиях Нижнего Поволжья. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 260-271. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-29.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В настоящее время отечественные специалисты уделяют большое внимание развитию местной селекции, семеноводства и отработке технологий возделывания зерновых культур для повышения эффективности агропромышленного производства [5]. Однако урожайность ярового ячменя демонстрирует значительную нестабильность, которая напрямую зависит от изменения погодных условий, например: засуха, жара с большими перепадами температур сменяющаяся часто ливневыми осадками и т. д. [1, 2, 8].

Крупнейшими мировыми производителями ярового ячменя являются Россия, Франция, США, Индия, Турция и Китай. Данная культура возделывается в больших объемах в связи с коротким вегетационным периодом и высокими качественными кормовыми показателями для скота: протеином (14-15 %) и клетчаткой (5,5-6,2 %). Сорта с низким содержанием белка, в среднем 8,5-12 %, ценятся в пивоваренной промышленности. В России площадь, занимаемая яровым ячменем, с 2020 по 2023 годы составляет 7,3-8 млн га и она обладает относительной неприхотливостью. Однако урожайность в Волгоградской области в среднем составляет 1,6-2,4 т/га, что является недостаточным показателем для обеспечения потребителя. В связи с этим постоянно ведутся исследования по повышению качества и урожайности зерна включающие все факторы технологий возделывания, влияющие на развитие растений [4, 8].

Основной ролью в развитии растений и последующем увеличении урожайности принято считать фотосинтетическую продуктивность, которая определяется не только интенсивностью химических процессов фотосинтеза, но и размерами листовой поверхности с длительностью работы до накопления сухой массы растений. Фотосинтетический потенциал листьев выступает как один из важных показателей напрямую коррелирующий с урожайностью [5, 6, 9, 10, 11, 13, 14].

На основании других источников известно, что SO_3 и B – это необходимые элементы питания растений, которые участвуют в процессах фотосинтеза и активируют синтез хлорофиллов [2, 9, 11, 12]. Применение серосодержащих удобрений повышает продуктивность фотосинтеза. Например, ранневесенняя подкормка серой увеличивает чистую продуктивность фотосинтеза на 6,5-8,6 %. Наибольшая продуктивность наблюдается в фазу выхода в трубку-колошение. Бор способствует синтезу хлорофилла и ассимиляции CO_2. При некорневой подкормке бором повышается интенсивность фотосинтеза в утренние и вечерние часы [13, 14].

Вследствие этого главной целью данного исследования выступает анализ эффективности влияния различных вариантов обработок биологическими препаратами с определенным долевым содержанием действующего вещества на фотосинтетическую деятельность растений и урожайность сортов ярового ячменя с учетом их восприимчивости (Рисунок 1).

Задачи исследований:

1. Провести оценку количественных показателей для сравнительного анализа сортов ярового ячменя (фактор А.)

2. Установить влияние адаптивности и усвоения растением макро- и микроудобрений с содержанием SO_3 и B на увеличение фотосинтетического потенциала и конечной урожайности сортов ярового ячменя (фактор B).

Материалы и методы.

Проведение всех учетов и наблюдений осуществлялось в соответствии с методикой полевого опыта Доспехова Б. А. и методикой Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур [3, 7].

Исследование проводилось в период 2023-2024 гг. Участок, где был заложен опыт, расположен на территории землепользования ФНЦ агроэкология РАН в п. Госселекстанция, Камышинского района Волгоградской области. Почва экспериментального участка – каштановая, среднемощная, тяжелосуглинистая, типичная для данной местности. Анализ на содержание гумуса определялся по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91). По категории гумусированности показатели были в среднем 1,85 % – малогумусированные. Содержание азота определялось по ГОСТ 53219-2008. По классификации данная почва с очень низким содержание азота – 4,4 мг/100 г почвы. Содержание фосфора и калия определялось по методу Мачигина (ГОСТ 26205-84). Содержание фосфора в слое от 0-10 см и 10-20 см имеет повышенные значения – 34,77 и 30,83 мг/100 г почвы. Однако в слое 20-30 см показатель составил – 23,62 мг/100 г почвы. Показатели калия в слое 0-10 см в среднем составляли – 292 мг/100 г почвы. Проводилось лущение стерни после уборки комбайном озимой пшеницы с помощью ЛДГ-10. Обработка почвы минимальная. Весенне-летний уход за паром состоял из весеннего боронования зубовыми боронами в два следа. Затем следовала культивация с помощью КПГ-4 на 8-10 см и вторая – перед посевом на 5-6 см. Обработка сорной растительности на участке проводилась гербицидом – Спрут Экстра (доза 3,5 л/га) для уничтожения всей сорной растительности.

Нами были выбраны сорта, которые относятся по характеристикам к данному региону возделывания (Нижневолжский-8): Медикум 139, Медикум 200 и Новониколаевский.

На протяжении исследования в 2023-2024 гг. проводилось внесение аммиачной селитры в дозе 100 кг/га перед посевом по всему опытному участку. Протравливание семян проводилось препаратом Поларис Кватро, СМЭ (д.в. суспомикроэмульсия 150 г/л ацетамиприда + 100 г/л прохлораза + 20 г/л тебуконазола + 15 г/л пираклостробина) в дозе – 1,5 л/га. Предпосевным удобрением являлась аммиачная селитра в дозе 100 кг/га по всему опытному участку.

На основе поставленных задач была разработана двухфакторная схема обработок сортов ярового ячменя по фазам развития ярового ячменя (рисунок 1).

Контроль В1(к), Фактор А / B1(k) Factor A

- без обработок

Вариант 2 (В2) по листу Фактор В / Option 2 (B2) according to the Factor B sheet

- Карбамид ($(NH_2)_2CO$) - доза - 30 кг/га в колошение

Вариант 3 (В3) по листу Фактор В / Option 3 (B3) according to the Factor B sheet

- Биостим Универсал (д.в. *аминокислоты растительного происхождения – 10 %; N – 6,0 %; K_2O – 1,3 %; SO_3 – 5,0 %)* - 0,5 л/га, весеннее начало вегетации
- Ультрамаг Бор (*д.в. N-4,7 %; B –11 %*) - 0,5 л/га, фаза вегетации "кущение"
- Гумат Калия ((д.в. *Марка ВР 20. Массовая доля органического вещества не менее 11%, K - 2,0-3,5 %)* - 0,5 л/га, фаза вегетации "выход в трубку" "
- Карбамид **(**$(NH_2)_2CO$**)** - доза 30 кг/га в колошение

Вариант 4 (В4) по листу Фактор В / Option 4 (B4) according to the Factor B sheet

- Биостим Рост (д.в. *аминокислоты растительного происхождения – 4,0 %; N – 4,0 %; P_2O_5 – 1,0 %; MgO – 2,0 %; SO_3 – 1,0 %, Fe – 0,4 %; Zn – 0,2 %; B – 0,1 %)* -1 л/га, весеннее начало вегетации
- Биостим универсал (д.в.*аминокислоты растительного происхождения – 10 %; N – 6,0 %; K_2O – 1,3 %; SO_3 – 5,0 %)* - 0,5 л/га, фаза вегетации "выход в трубку"
- Карбамид **(**$(NH_2)_2CO$**)** - доза 30 кг/га в колошение

Рисунок 1 – Варианты обработки сортов ярового ячменя биологическими препаратами в Камышинском районе Волгоградской области, 2023-2024 гг.
Figure 1 – Options for the treatment of spring barley varieties with biological preparations in the Kamyshinsky district of the Volgograd region, 2023-2024

В течение вегетационного периода на основе выше приведенной схемы питания, проводились наблюдения по изучению динамики сухой массы растений, фотосинтетического потенциала (ФП) и чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) по Ничипоровичу [7]. Математическая обработка данных проводилась в программе Excel 2024.

Результаты и выводы. Климат Камышинского района засушливый, с резко выраженной континентальностью. В начале весеннего периода установилась положительная динамика дневных температур, но в ночное время наблюдались отрицательные, в среднем за месяц – 2,30 ℃. В марте выпало 73,2 мм осадков в виде дождя и снега, это пополнило запас влаги в верхних слоях почвы. В апреле происходило постепенное нарастание температур воздуха с минимальной температурой 7,1 ℃ (рисунок 2). За время всей вегетации (апрель-июль) ярового ячменя выпало 184,4 мм осадков, что характеризует его как слабо засушливый год.

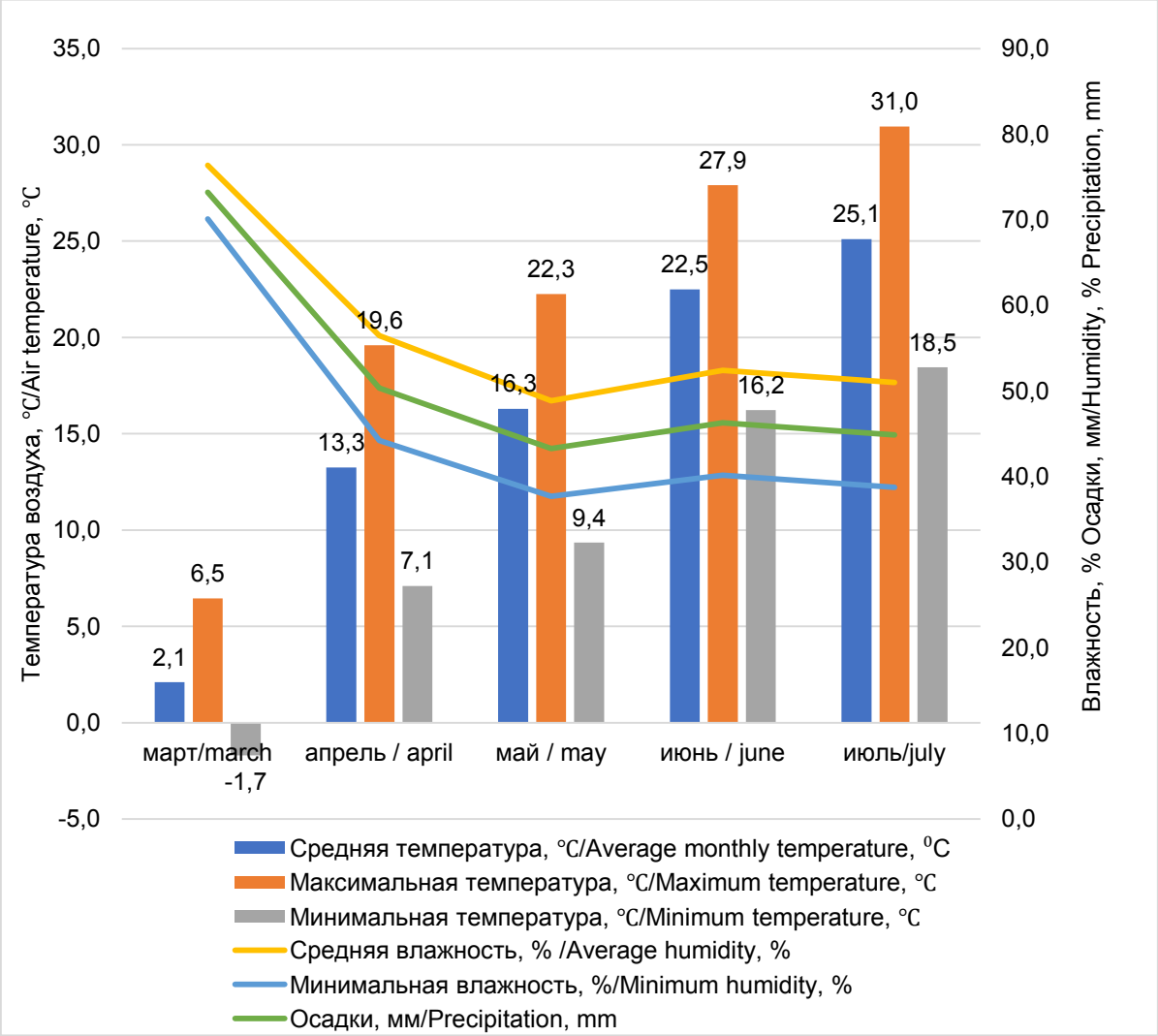


Рисунок 2 – Климатические условия в Камышинском районе Волгоградской области, 2023 г.
Figure 2 – Climatic conditions in the Kamyshinsky district of the Volgograd region, 2023

В 2024 году сроки сева выпали на вторую декаду апреля. В мае среднемесячная температура воздуха была ниже нормы на 1,2 ℃. Температуры июня и июля были выше средних многолетних значений (24,1 ℃ и 26,3 при с. м. 20,5° и 22,8 ˚С соответственно). За время вегетации выпало 125,7 мм осадков, что характеризует его как крайнезасушливый год (рисунок 3). Дефицит влаги наблюдался на всем протяжении вегетационного периода.

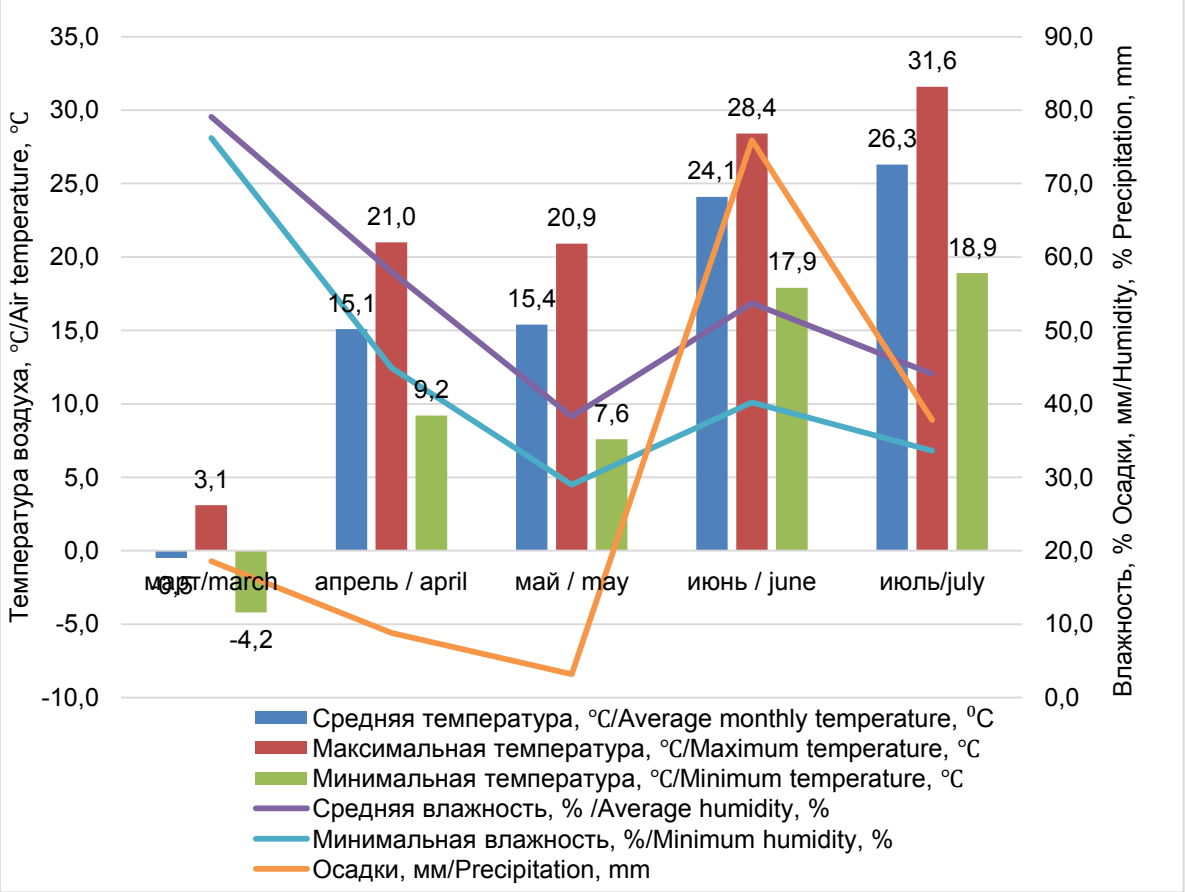


Рисунок 3 – Климатические условия в Камышинском районе Волгоградской области, 2024 г.
Figure 3 – Climatic conditions in the Kamyshinsky district of the Volgograd region, 2024

В нашем исследовании, учитывая климатические условия 2023-2024 гг. были получены отличия увеличения параметров фотосинтетического потенциала не только между сортами (Фактор А), но и при использовании современных биологических препаратов (Фактор В) от контрольного варианта без обработок (рисунок 4, 5, 6).

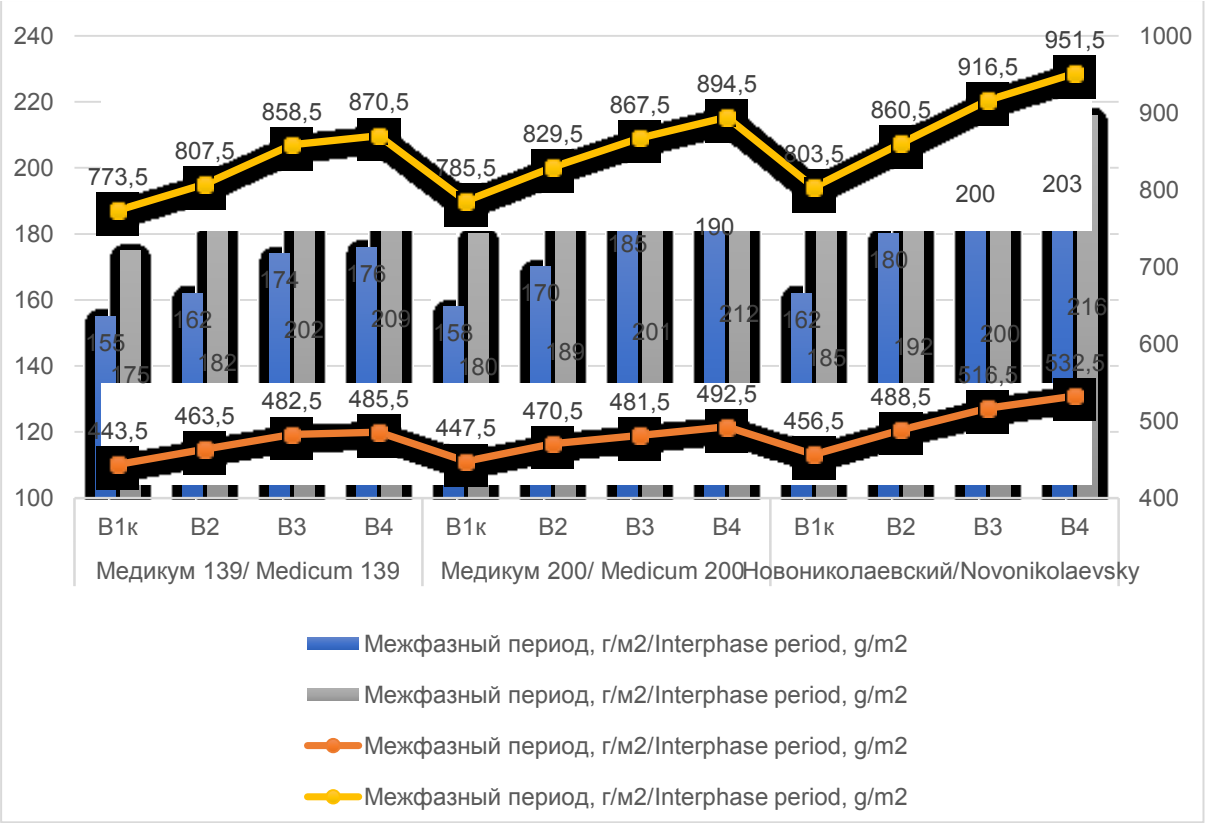
В среднем за два года исследований применение листовых обработок по сортам ярового ячменя способствовало увеличению ассимиляционной поверхности в среднем на 12-19 % по сравнению с контролем. Обработка посевов на стадии кущения привела к росту площади листьев на 6,4-10,2 %. Наиболее значительное увеличение листовой поверхности наблюдалось при комплексном применении обработок в 2023-2024 гг. в среднем за 2023-2024 г: В3 – 36,7-39,1 и В4 – 40,9-41,2 тыс. м^2 /га.

В ранних исследованиях указано, что максимальный потенциал ассимилирующей поверхности листа достигается в фазу «выход в трубку-колошение», а затем происходит увядание в межфазный период «колошение-молочная спелость» и с одновременным отмиранием производится передача пластических веществ в репродуктивные органы [1, 2]. Исходя из этого, в нашем исследовании по параметрам ФП значимый результат принадлежит суммарному периоду развития растений сортов ярового ячменя – «кущение-молочная спелость».

Начиная с момента наступления фазы цветения (колошения) наблюдалось существенное сокращение листовой поверхности как в контрольной группе, так и в опытных вариантах. Это явление коррелировало с остановкой вегетативного роста, понижением хлорофилла (пожелтением) и последующим усыханием листьев.

Однако образование сухого вещества оказывает большое влияние на повышение урожайности зерна в зависимости от определенного уровня общего сухого вещества биомассы. Так, наибольший показатель во время вегетации растений сортов ярового ячменя по фактору А, отмечен в фазу «выход в трубку-колошение» у сорта Новониколаевский –

456 г/м$^{2.}$ (Медикум 139 – меньше на 13 г/м^2, Медикум 200 – меньше на 9 г/м^2). Также у этого сорта отмечено максимальное количество сухого вещества в зависимости от варианта внекорневой подкорми от В1(к) по Фактору В в период «кущение-молочная спелость», Новониколаевский – 803,5 г/м$^{2.}$ (Медикум 139 – меньше на 30 г/м^2, Медикум 200 – меньше на 18 г/м^2) (рисунок 4).

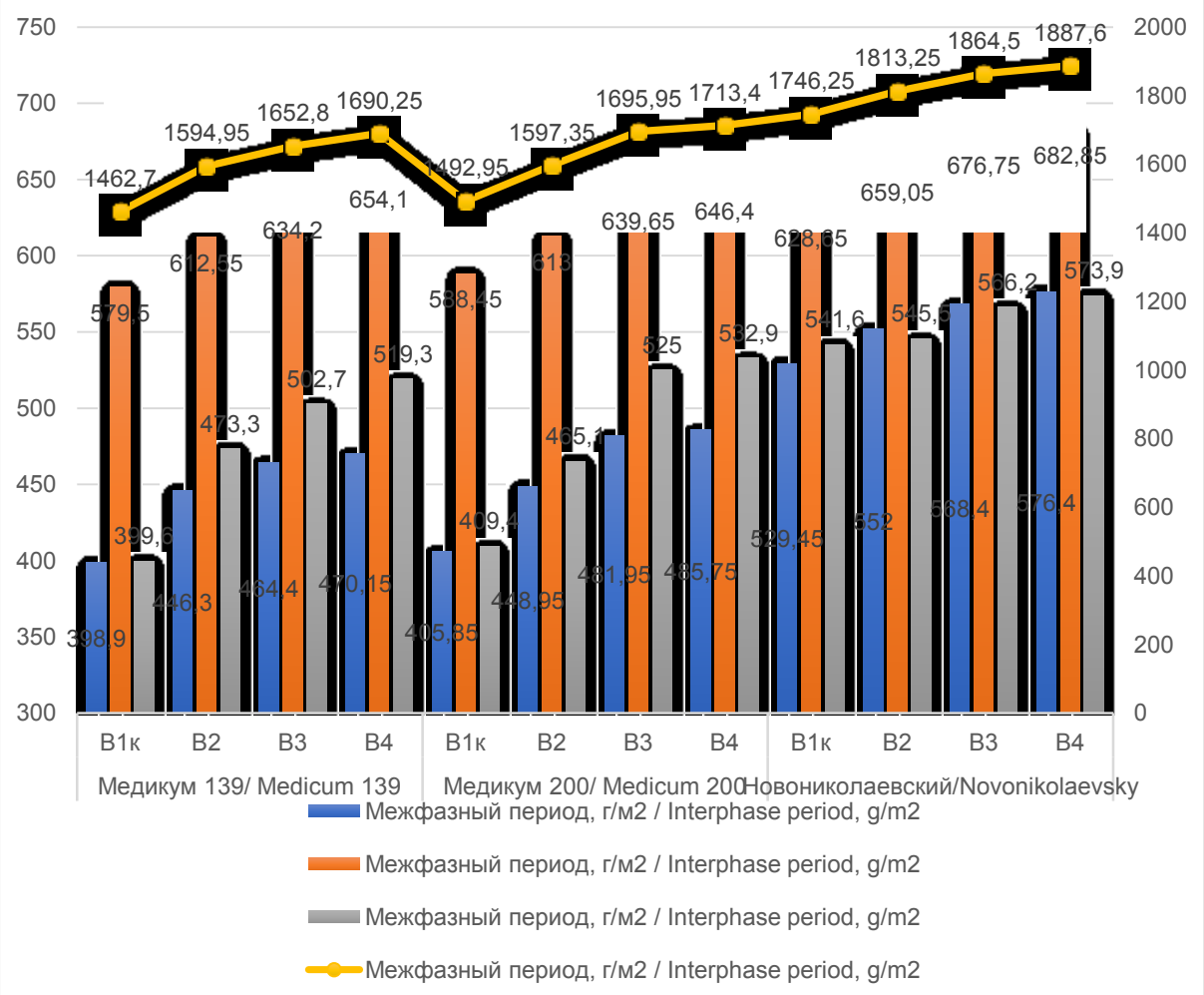


*НСР$_{05}$ А = 7,88 г/м^2; НСР$_{05}$ В = 4,26 г/м^2; НСР$_{05}$ (total) = 4,10 г/м^2.
НСР$_{05}$ А= 7.88 g/m^2; НСР$_{05}$ В = 4.26 g/m^2; НСР$_{05}$ (total) = 4.10 g/m^2.

Рисунок 4 – Динамика накопления сухого вещества сортов ярового ячменя в Камышинском районе Волгоградской области, среднее за 2023-2024 гг.
Figure 4 – Dynamics of accumulation of dry matter of spring barley varieties in the Kamyshinsky district of the Volgograd region, average for 2023-2024

Следующей прямой закономерностью жизнедеятельности и процесса фотосинтеза растений является фотосинтетический потенциал. Анализируя график на рисунке 5 нашего исследования, наибольшие показатели ФП по фактору А отмечены у сорта Новониколаевский – 1746 тыс. м^2 сут/га, а другие сорта дали от лидера результат значительно ниже: Медикум 139 – 1462 тыс. м^2 сут/га (меньше на 284 тыс. м^2 сут/га) и Медикум 200 – 1492 тыс. м^2 сут/га (меньше на 254 тыс. м^2 сут/га).

В процессе исследования влияния внекорневых подкормок по фактору В, заметно увеличение площади листьев по схеме обработки В3 и В4, показатели которых превысили контрольный вариант и В2 (аммиачная селитра – 100 кг/га) при этом повысив ФП сортов ярового ячменя. Максимальное значение увеличения в период «кущение-молочная спелость» достигнута от В1(к) сортом Новониколаевский: В2 – на 3,7 %; В3 – на 6,4 %; В4 – на 7,5 %. Другие сорта дали меньший результат повышения процента ФП от В1(к): Медикум 139 – В2 – на 8,3 %; В3 – на 11,5 %; В4 – на 13,5 % и Медикум 200 – В2 – на 6,5 %; В3 – на 12,0 %; В4 – на 12,9 % (рисунок 5) Исходя из этого, общий процент увеличения ФП по сортам ярового ячменя фактора В между вариантами обработок от В1(к) находится в пределах: В2 – 6,17 %, В3 – 9,9 %, В4 – 11,3 %. Данный анализ позволил выявить ФП сортов в зависимости от характеристики каждого сорта.



*$НСР_{05}$ А = 7,80 тыс. $м^2$ сут./га; $НСР_{05}$ В= 8,42 тыс. $м^2$ сут./га; $НСР_{05}$ (total) = 8,13 тыс. $м^2$ сут./га.
$НСР_{05}$ A= 7.80 thousand m^2 day/ha; $НСР_{05}$ B= 8.42 thousand m^2 day/ha; $НСР_{05}$ (total) = 8.13 thousand m^2 day/ha.

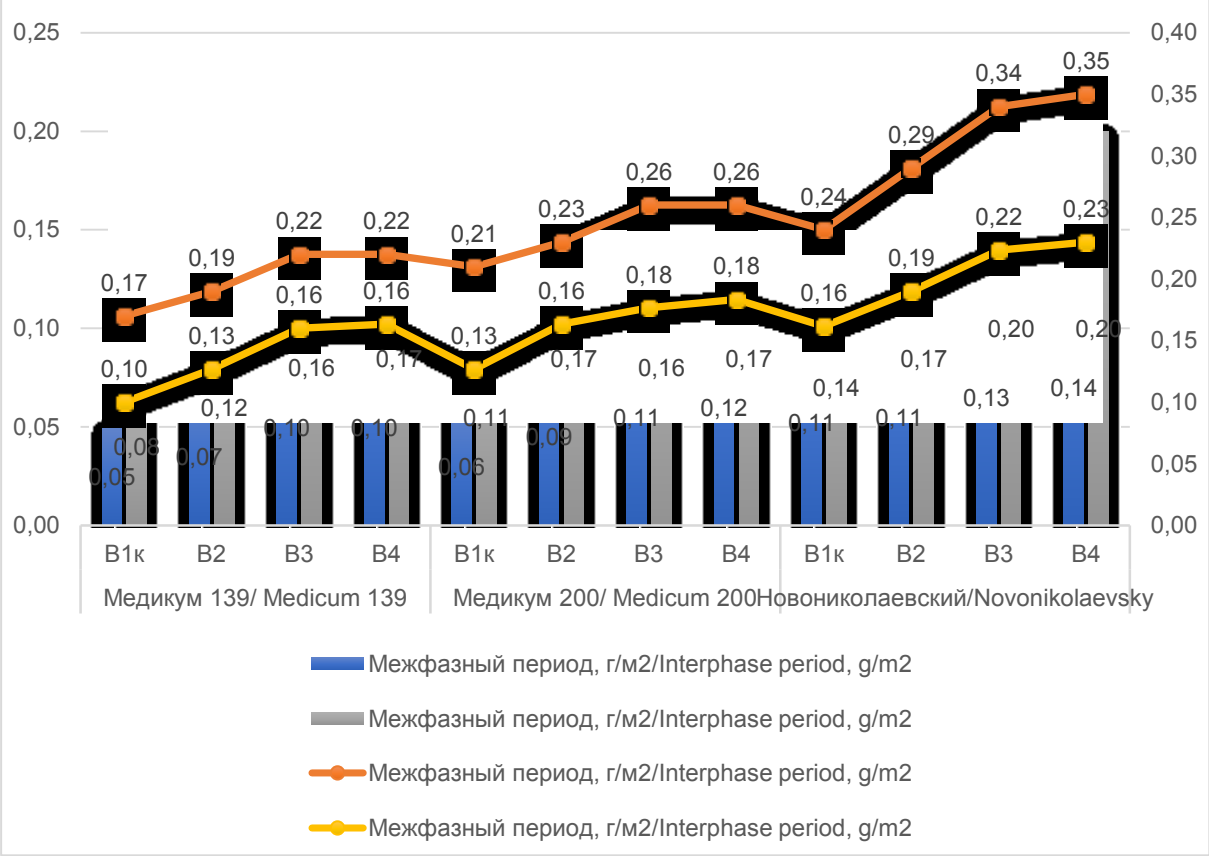
Рисунок 5 – Фотосинтетический потенциал сортов ярового ячменя в Камышинском районе Волгоградской области, тыс. $м^2$ сут/га среднее за 2023-2024 гг.
Figure 5 – Photosynthetic potential of spring barley varieties in the Kamyshinsky district of the Volgograd region, thousand m2 day/ha average for 2023-2024

Конечным результатом эффективности функционирования листового аппарата растений является чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) Этот показатель не является статичным, его величина определяется как внешними факторами среды, так и внутренним физиологическим состоянием растений, в первую очередь интенсивностью ассимиляционной деятельности и площадью листовой поверхности [2, 5, 6].

Максимальная величина ЧПФ по фактору А достигалась также в фазу «выход в трубку-колошение» у сорта Новониколаевский – 0,24 г/$м^2$, а также при высоких температурах в летний период заметно меньшее снижение потенциала сорта по засухоустойчивости к концу фазы колошения от других сортов: Медикум 139 и Медикум 200 (в среднем на 21,5 %). Суммарное количество данных сортов находится в пределах: Медикум 139 – 0,1 г/$м^2$; Медикум 200 – 0,13 г/$м^2$ и Новониколаевский – 0,16 г/$м^2$(рисунок 6).

По фактору В, в условиях опыта за весь вегетационный период «кущение-молочная спелость» конечный прирост ЧПФ, как показано на рисунке 6, тесно взаимосвязан не только с генетическим потенциалом сорта, но и с вариантом обработки биологическими препаратами. Так, наиболее высокую адаптацию к засухе и низкой влагообеспеченности, включая повышение показателей по листовым обработкам микроудобрениями от В1 (к) на протяжении всего периода имеет сорт ярового ячменя Новониколаевский: В2 – на 17,6 %; В3 и

В4 – на 30 %. Сорта Медикум 139 и Медикум 200 имели незначительный прирост ЧПФ от В1 (к) в данном исследовании, в среднем: В2 – на 9,45 %; В3 и В4 – на 21 %, что значительно меньше от сорта Новониколаевский: В2 – на 8,15 %, В3 и В4 – на 9 % (рисунок 6).



*$НСР_{05}$ А = 0,011 г/м^2; $НСР_{05}$ В= 0,013 г/м^2; $НСР_{05}$ (total) = 0,012 г/м^2.
$НСР_{05}$ А= 0.011 g / m^2; NSR_{05} В= 0.013 g / m^2; NSR_{05} (total) = 0.012 g / m^2.

Рисунок 6 – Чистая продуктивность фотосинтеза сортов ярового ячменя в Камышинском районе Волгоградской области, г/м^2 среднее за 2023-2024 гг.
Figure 6 – Net photosynthesis productivity of spring barley varieties in the Kamyshinsky district of the Volgograd region, g/m^2 average for 2023-2024

По итоговой оценке, фотосинтетического потенциала можно сделать вывод, что наиболее адаптивным и максимально сохраняющим продолжительность процесса фотосинтеза и меньшим расходом влаги по динамике сухой массы на конечный период вегетации в растениях ярового ячменя, для данной климатической зоны по фактору А, выделяется сорт Новониколаевский. Также этот сорт выделяется по критериям усвоения питания при обработке современными препаратами по фактору В.

Результатом условий роста и развития растений сельскохозяйственных культур в течение всей вегетации является их масса 1000 семян и урожайность, которая концентрирует в себе результат всего спектра процессов [3, 9].

Наши исследования показали, что по фактору А, лучшие результаты принадлежат сорту Новониколаевский: масса 1000 зерен – 39 г и урожайность – 2,47 т/га. Сорта Медикум 139 и Медикум 200 показали более низкий результат, чем лидирующий сорт, в среднем: масса 1000 зерен – меньше на 2,3 г; урожайность – на 0,43 т/га (рисунок 6).

По фактору В заметна значительная разница по увеличению нарастания массы зерна сортов ярового ячменя от В1(к) по применению схемы обработки растений внекорневыми подкормками. Так сорт Новониколаевский дал самый наибольший прирост от В1(к) по массе 1000 зерен: В2 – на 1,8 г; В3 – на 3,5 г; В4 – на 5,3 г, а по урожайности: В2 – на 1,12 т/га; В3 – на 1,34 т/га и В4 – на 1,65 т/га (рисунок 6). По сортам Медикум 139 и Медикум 200 применение удобрений давало значительный прирост урожайности от В1 (к), однако результаты были меньше, чем у сорта Новониколаевский и варьировали в среднем диапазоне: В2 – на

0,61т/га; В3 – на 1,05 т/га; В4 – на 1,22 т/га. Достоверная прибавка по фактору В от контрольного варианта по сортам ярового ячменя составила: В2 – на 0,77 т/га; В3 – на 1,14 т/га и В4 – на 1,35 т/га (рисунок 6).

Таблица 1 – Масса 1000 зерен и урожайность сортов ярового ячменя в Камышинском районе Волгоградской области среднее за 2023-2024 гг.
Table 1 – Weight of 1000 grains and yield of spring barley varieties in Kamyshinsky district of Volgograd region average for 2023-2024

Наименование сорта / Variety name	Вариант обработки / Processing option	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Урожайность, т/га / Yield, t/ha
Медикум 139 / Medicum 139	В1к	36,10	1,91
	В2	36,80	2,24
	В3	38,00	2,44
	В4	38,70	2,68
	Среднее / Average	37,40	2,32
Медикум 200 / Medicum 200	В1к	37,30	2,12
	В2	37,80	3,01
	В3	38,70	3,68
	В4	40,20	3,78
	Среднее / Average	38,50	3,15
Новониколаевский / Novonikolaevsky	В1к	39,00	2,47
	В2	40,80	3,59
	В3	42,50	3,81
	В4	44,30	4,12
	Среднее / Average	41,65	3,50

*$НСР_{05}$ А = 0,019 т/га; $НСР_{05}$ В = 0,015 т/га; $НСР_{05}$ (total) = 0,014 т/га.
$НСР_{05}$ А = 0,019 t/ha; $НСР_{05}$ В= 0,015 t/ha; $НСР_{05}$ (total) = 0,014 t/ha.

Заключение. Анализ полученных данных свидетельствует о том, что по фактору А все исследованные сорта ярового ячменя продемонстрировали высокий уровень адаптивности к условиям засушливой зоны Волгоградской области. В отношении фактора В наблюдается вариабельность результатов в зависимости от примененного варианта обработки с разницей между В3 и В4 составила от 0,25 до 0,36 т/га.

Это объясняется тем, что по схеме варианта 3 в начале весенней вегетации использовались препараты: Биостим Универсал (*д.в. аминокислоты растительного происхождения – 10 %; N – 6,0 %; K_2O – 1,3 %; SO_3 – 5,0 %)* и Ультрамаг Бор (д.*в. N-4,7 %; B –11 %).* Содержание SO_3 и В позволило запустить процесс фотосинтетической деятельности на увеличение площади поверхности листа в фазе кущения и продолжительность процесса влагопотребления зеленой массы растений до отмирания и увядания (снижение сухой массы) раньше, чем по схеме обработки варианта 4, где использовался препарат Биостим Рост (д.в. *аминокислоты растительного происхождения – 4,0 %; N – 4,0 %; P_2O_5 – 1,0 %; MgO – 2,0 %; SO_3 – 1,0 %, Fe – 0,4 %; Zn – 0,2 %; B – 0,1 %).* Содержание SO_3 и В, а также остальных элементов питания, дали запуск процесса фотосинтеза позже, чем на варианте 3. Однако, Биостим универсал (д.в. *аминокислоты растительного происхождения – 10 %; N – 6,0 %; K_2O – 1,3 %; SO_3 – 5,0 %)* позволил увеличить площадь ассимиляционной поверхности листа в фазу вегетации выхода в трубку. В конечном итоге результаты ЧПФ между вариантами обработок по НСР фактора В имели незначительную разницу между В3 и В4, но, большое отклонение от В1 (к) и В2.

В заключении по итогу исследования установлено, что для данной зоны внедрение листовых обработок в фазу кущения и выхода в трубку с содержанием SO_3 и В, позволяет повысить фотосинтетическую продуктивность и увеличение урожайности сортов ярового ячменя на 1,14-135 т/га в засушливой зоне Камышинского района Волгоградской области.

Conclusions. Based on the data obtained, the final assessment of the results of the factor A study shows the high adaptability of all spring barley varieties in the arid zone of the Kamyshinsky district of the Volgograd region. In terms of factor B, the results vary between treatment options, but the difference between treatments B3 and B4 is in the range of 0.25-036 t/ha. This is due to the fact that according to the scheme of option 3, drugs were used at the beginning of the spring growing season: Biostim Universal (compound amino acids of plant origin – 10 %; N – 6.0 %; K_2O – 1.3 %; SO_3 – 5.0 %) and Ultramarine (compound N-4.7 %; B – 11 %). The content of SO3 and B allowed us to start the process of photosynthetic activity to increase the leaf surface area during the thickening phase and

the duration of the process of moisture consumption of the green mass of plants before dying and wilting (decrease in dry weight) earlier than according to the treatment scheme of option 4, where Biostim Growth was used (d.v. amino acids of plant origin – 4.0 %; N – 4.0 %; P_2O_5 – 1.0 %; MgO – 2.0 %; SO_3 – 1.0 %, Fe – 0.4 %; Zn – 0.2 %; B – 0.1 %). The content of SO3 and B, as well as other nutrients, triggered the photosynthesis process later than in option 3. However, the biological stimulator (i.e. amino acids of plant origin – 10 %; N – 6.0 %; K_2O – 1.3 %; SO_3 – 5.0 %) allowed increasing the area of the assimilation surface of the leaf during the growing season of the outlet into the tube. In the end, the results of the NPF between the treatment options for HCV factor B had a slight difference between B3 and B4, but had a large deviation from B1(k) and B2.

In conclusion, based on the results of the study, it was found that for this zone, the introduction of leaf treatments into the tillering vase and exit into the tube with SO3 and B content can increase photosynthetic productivity and increase the yield of spring barley varieties by 1.14-135 t/ha in the arid zone of the Kamyshinsky district of the Volgograd region.

Библиографический список

1. Гузенко А. Ю. Исследование и математическое моделирование влияния биопрепаратов на урожайность ярового ячменя в засушливых условиях Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 290-303.
2. Гузенко А. Ю., Солонкин А. В., Донцова А. А. Сравнительный анализ фотосинтетического потенциала новых сортов ярового ячменя в зоне засушливого климата Нижнего Поволжья. Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16. № 2. С. 88-97.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 352 с.
4. Евдокимова В. А., Чермных О. Г. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя. Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 91-96.
5. Ионова Е. В., Газе В. Л., Лиховидова В. А. Фотосинтетическая деятельность и динамика накопления сухой массы растений озимой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания. Зерновое хозяйство России. 2020. № 1 (67). С. 23-27.
6. Капранов В. Н., Зеленев А. В., Киселѐв Е. Ф., Тегесов Д. С., Плескачев Н. Ю. Роль технологий разного уровня интенсивности в формировании урожайности и качества зерна новых сортов озимой пшеницы. Известия НВ АУК. 2025. № 1 (79). С. 32-43.
7. Ленточкин А. М. и др. Методики агрономических исследований: учебно-методическое пособие. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. 172 с.
8. Питоня В. Н., Питоня А. А. Оценка адаптивности и стрессоустойчивости сортов ярового ячменя для Волгоградской области. Научно-агрономический журнал. 2022. № 1 (116). С. 15-18.
9. Серегина И. И., Ниловская Н. Т. Фотосинтетическая активность и донорно-акцепторные отношения растений яровой пшеницы при применении молибденовокислого аммония в условиях засухи. Агрохимия. 2020. № 7. С 26-35.
10. Шестакова Е. О., Ерошенко Ф. В., Сторчак И. Г., Оганян Л. Р., Чернова И. В. Влияние различных элементов технологии возделывания на содержание хлорофилла в растениях озимой пшеницы и ее урожайность. Аграрный вестник Урала. 2020. № 05 (196). С. 27-37.
11. Al-Ghzawi A. L. A., Al-Ajlouni Z. I., Al Sane K. O., Bsoul E. Y., Musallam I., Khalaf Y. B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqar H. Yield stability and adaptation of four spring barley (Hordeum vulgare L.) cultivars under rainfed. Conditions Research on Crops. 2019. No 20 (1). Pp. 10-18.
12. Aubry S. The future of digital sequence informationfor plant genetic resources for food and agriculture. Front.Plant Sci. 2019. V. 10. Art. 1046.
13. Cammarano D., Hawes C., Squire G., Holland J., Rivington M., Murgia T., Roggero P. P., Fontana F., Casa R., Ronga D. Rainfall and temperature impacts on barley (Hordeum vulgare L.) yield and malting quality in Scotland. Field Crops Research. 2019. No 241 (1). Art. 107559.
14. Klem K, Gargallo-Garriga A., Rattanapichai W., Oravec M., Holub P, Veselá B, Sardans J., Peñuelas J., Urban O. Distinct Morphological, Physiological, and Biochemical Responses to Light Quality in Barley Leaves and Roots. Frontiers in Plant Science. 2019. V. 10.

References

1. Guzenko A. Yu. Research and Mathematical Modeling of the Influence of Biological preparations on the Yield of Spring Barley in the Arid Conditions of the Volgograd Region. Proceedings of the Nizhny Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 1 (69). Pp. 290-303.
2. Guzenko A. Yu., Solonkin A. V., Dontsova A. A. Comparative analysis of the photosynthetic potential of new spring barley varieties in the arid climate zone of the Lower Volga region. Grain Economy of Russia. 2024. Vol. 16. No 2. Pp. 88-97.
3. Dospekhov B. A. Methodology of Field Experiment (with the Basics of Statistical Processing of Research Results). Moscow: Alliance, 2014. 352 p.
4. Evdokimova V. A., Chermnykh O. G. Influence of Growth Regulators on the Photosynthetic Activity of Spring Barley Crops. Bulletin of the Ulyanovsk Agricultural Academy. 2018. No 4. Pp. 91-96.
5. Ionova E. V., Gaze V. L., Likhovidova V. A. Photosynthetic activity and dynamics of accumulation of dry mass of winter soft wheat plants depending on growing conditions. Grain Economy of Russia. 2020. No 1 (67). Pp. 23-27.
6. Kapranov V. N., Zelenev A. V., Kiselev E. F., Tegesov D. S., Pleskachev N. Yu. The Role of Technologies of Different Levels of Intensity in the Formation of Yield and Quality of Grain of New Varieties of Winter Wheat. Proceedings of the NVAUK. 2025. No 1 (79). Pp. 32-43.
7. Lentochkin A. M. et al. Methods of Agronomic Research: A Study Guide. Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2018. 172 p.

8. Pitonya V. N., Pitonya A. A. Assessment of adaptability and stress resistance of spring barley varieties for the Volgograd region. Scientific and Agronomic Journal. 2022. No 1 (116). Pp. 15-18.

9. Seregina I. I., Nilovskaya N. T. Photosynthetic activity and donor-acceptor relations of spring wheat plants when using ammonium molybdate under conditions of drought. Agrokhimiya. 2020. No 7. Pp. 26-35.

10. Shestakova E. O., Eroshenko F. V., Storchak I. G., Oganian L. R., Chernova I. V. Influence of various elements of cultivation technology on the chlorophyll content in winter wheat plants and its yield. Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No 05 (196). Pp. 27-37.

11. Al-Ghzawi A. L. A., Al-Ajlouni Z. I., Al Sane K. O., Bsoul E. Y., Musallam I., Khalaf Y. B., Al-Hajaj N., Al-Tawaha A. R., Aldwairi Y., Al-Saqqar H. Yield stability and adaptation of four spring barley (Hordeum vulgare L.) cultivars under rainfed. Conditions Research on Crops. 2019. No 20 (1). Pp. 10-18.

12. Aubry S. The future of digital sequence informationfor plant genetic resources for food and agriculture. Front.Plant Sci. 2019. V. 10. Art. 1046.

13. Cammarano D., Hawes C., Squire G., Holland J., Rivington M., Murgia T., Roggero P. P., Fontana F., Casa R., Ronga D. Rainfall and temperature impacts on barley (Hordeum vulgare L.) yield and malting quality in Scotland. Field Crops Research. 2019. No 241 (1). Art. 107559.

14. Klem K, Gargallo-Garriga A., Rattanapichai W., Oravec M., Holub P, Veselá B, Sardans J., Peñuelas J., Urban O. Distinct Morphological, Physiological, and Biochemical Responses to Light Quality in Barley Leaves and Roots. Frontiers in Plant Science. 2019. V. 10.

Информация об авторах

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

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

Authors' Information

Guzenko Aleksey Yurievich, Junior 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/0000-0003-3852-5358, e-mail: guzenko-ay@vfanc.ru

Solonkin Andrey Valerievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1576-7824, e-mail: solonkin-a@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-30

THE HUMIC PREPARATION TESTING RESULTS ON THE YIELD OF TOMATOES GROWN IN THE GREENHOUSES

[1]Kuznetsov A. S., [1]Sergeeva I. A., [2]Stepanova D. I., [1]Grigorev M. F.

[1]Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov
Kemerovo, Russian Federation
[2]Arctic State Agro-technological University
Yakutsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: grig_mf@mail.ru

Received 22.12.2025 Submitted 15.03.2026

Summary

This article presents the results of a study examining the effect of a humic preparation on biometric plant growth parameters and tomato yield in the Kemerovo region. The results showed that all treatments were superior to the control treatment and differed in the parameters studied.

Abstract

The aim of the study – the influence of a humic preparation on biometric indicators and yield of tomatoes in protected soil in the conditions of the Kemerovo region – Kuzbass. **Research methods:** The study was conducted over two years at the Beregovoy agricultural production cooperative in the Kemerovo Region. The effectiveness of using a humic preparation in tomato cultivation under greenhouse conditions was assessed in 15 different experimental conditions. **Results:** The study found that when growing tomatoes in greenhouse conditions in the variants (control) where the humic preparation was not used, the biometric growth indicators were lower and varied from 170 to 179 cm, the number of leaves – from 26.8 to 28.1 pcs., inflorescences – from 6 to 6.4 pcs., fruits - from 3.9 to 4.6 pcs. When using a humic preparation, optimal growth and development indicators for seedlings were established with a combined approach (seed treatment with subsequent repeat treatments at stages 3-4 and 7-8 true leaves). Treatment with a humic preparation had a positive effect on plant growth up to 181-196 cm, as well as on the formation of leaves 29.3-32 pcs. Moreover, the number of inflorescences in the experimental variants increased by 6.5-6.9 pieces, and the number of fruits, respectively, by 4.7-5.2 pieces. Changes in biometric indicators under the influence of the humic preparation were reflected in an increase in tomato yield, depending on the variant by 10-14 %. **Conclusion:** The conducted studies have shown the potential of using a humic preparation for growing tomatoes in protected soil conditions in the Kemerovo region.

Keywords: *tomato cultivation, tomato cultivation technologies, humic preparations, and tomato yield.*

Citation. Kuznetsov A. S., Sergeeva I. A., Stepanova D. I., Grigorev M. F. The humic preparation testing results on the yield of tomatoes grown in the greenhouses. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 271-278 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-30.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.811.98+635.64

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ГУМИНОВОГО ПРЕПАРАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ТОМАТОВ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ

[1]**Кузнецов А. С.,** *аспирант*
[1]**Сергеева И. А.,** *кандидат физико-математических наук, доцент*
[2]**Степанова Д. И.,** *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
[1]**Григорьев М. Ф.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*

[1]*ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкова»*
г. Кемерово, Российская Федерация
[2]*ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»*
г. Якутск, Российская Федерация

Аннотация. Цель – изучить влияние гуминового препарата на биометрические показатели и урожайность томатов в защищенном грунте в условиях Кемеровской области – Кузбасса. **Материалы и методы:** исследования проведены в течение двух лет на базе СПК «Береговой» Кемеровской области. По условиям опыта эффективность использования гуминового препарата при выращивании томатов в условиях закрытого грунта проведено в 15 вариантах. **Результаты:** в исследовании было установлено, что при выращивании томатов в тепличных условиях в вариантах (контрольные), где не использован гуминовый препарат, биометрические показатели роста были ниже и варьировалась от 170 до 179 см, количество листьев – от 26,8 до 28,1 шт., соцветий – от 6 до 6,4 шт., плодов – от 3,9 до 4,6 шт. При использовании гуминового препарата установлены оптимальные показатели роста и развития рассады при комбинированном подходе (обработке семян с последующими повторными обработками на стадиях 3-4 и 7-8 настоящих листьев). Обработка гуминовым препаратом положительно повлияла на рост растений (до 181-196 см), а также на формирование листьев (29,3-32 шт.). При этом количество соцветий в опытных вариантах увеличилась на 6,5-6,9 шт., а число плодов соответственно – на 4,7-5,2 шт. Изменения биометрических показателей под влиянием гуминового препарата отразились на повышении урожайности томата (в зависимости от варианта на 10-14 %). **Заключение:** проведенные исследования показали перспективность использования гуминового препарата при выращивании томатов в условиях защищенного грунта Кемеровской области.

Ключевые слова: *возделывание томата, технологии возделывания томата, гуминовые препараты, урожайность томата.*

Цитирование. Кузнецов А. С., Сергеева И. А., Степанова Д. И., Григорьев М. Ф. Результаты испытания гуминового препарата на урожайность томатов в защищенном грунте. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 271-278. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-30.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Кемеровская область характеризуется резко континентальным климатом. В регионе стабильный снежный покров формируется в декабре и сохраняется до середины марта месяца. Июль месяц считается самым теплым месяцем, где средние температуры варьируются от +17,5 до +18,8 ℃. Устойчивый холодный барьер прекращается со 2-3 декады мая, а осенний начинается с сентября. Максимальное количество осадков выпадает в летний период (июль-август).

Многие исследователи установили, что в период интенсивного роста и плодоношения теплолюбивых растений (томаты и огурцы), могут наступать резкие колебания температуры в течение суток, а также неожиданные заморозки ночью. Природно-климатические особенности могут отрицательно воздействовать на выращиваемые культуры, замедляя их рост и развитие, снижая урожайность. Стрессовые факторы влияют на культурные растения, ослабляют иммунитет, делая их более восприимчивыми к болезням и вредителям. В связи с этим для минимизации влияния внешних условий используют системы закрытого грунта для теплолюбивых культур [11, 12, 13].

В мире широко развивается органическое земледелие, которое подразумевает производство аграрной продукции без использования химических удобрений и препаратов синтетической природы [5, 8].

Известно, что использование стимуляторов роста является эффективным способом, повышающим рентабельность тепличных хозяйств. Поэтому в тепличных хозяйствах большое внимание уделяется возможностью использования стимуляторов роста для обеспечения постоянных и высоких урожаев культур с сохранением высокого качества продукции [4, 6, 7].

Овощеводство и плодоводство являются стратегическими отраслями растениеводства, обеспечивающими население продуктами питания, содержащими большое количество витаминов, углеводов и минеральных веществ. Томат является ценной культурой из-за высокого содержания питательных веществ (сахаров, пектиновых веществ, азотистых соединений, органических кислот, каротиноидов, витаминов С, К, РР, группы В, минеральных веществ и др.), что подтверждает высокий спрос на него на внутреннем рынке. Поэтому в целях повышения урожайности культур и качества аграрной продукции ежегодно появляются новые биопрепараты. При этом хорошо себя зарекомендовало использование удобрений естественного происхождения, в том числе органических. Использование удобрений и подкормок способствуют активизации процессов роста и развития растений, делая их более устойчивыми к внешним негативным воздействиям [9, 10].

В системе растениеводства большое значение придается питанию растений, то есть использованию удобрений и подкормок, которые обеспечивают получение стабильных урожаев овощных культур. Использование различных регуляторов роста позволяет ускорить процесс цветения и плодоношения, значительно повысить урожайность томатов. Ежегодно ассортимент биостимуляторов роста растений расширяется, так как нет единого универсального средства. Поэтому разрабатываются подходы к регулированию роста возделываемых культур и совершенствуются технологии выращивания растений в зависимости от культуры, сорта или гибрида, зон и типа почв, режима орошения. Установлено, что гуминовые вещества снижают риск развития различных заболеваний у растений и способствуют повышению их устойчивости к неблагоприятным факторам, таким как недостаток освещения, заморозки, засуха и избыточное увлажнение [1, 2, 3].

Цель исследования – изучить влияние гуминового препарата «Здоровый урожай» на биометрические и продуктивные показатели томата в условиях закрытого грунта Кузбасса.

Задачи:

- определить влияние гуминового препарата на биометрические показатели растений томата;
- установить урожайность томатов в защищенном грунте на фоне применения гуминового препарата.

Материалы и методы. Исследования были проведены в условиях тепличного хозяйства сельскохозяйственного производственного кооператива «Береговой» в течение двух лет (2023 и 2024 гг.). Местом проведения исследований была пленочная теплица площадью 500 м^2. Посев семян для получения рассады был осуществлен 28 марта. Перемещение подготовленной рассады в пленочную теплицу для дальнейшего выращивания было произведено 24 мая.

Испытание было осуществлено в соответствии с методикой [8].

Размещение вариантов в опыте – стандартное. Повторность в опыте – трехкратная. Схема посадки – 50×50, густота посадки – 4 шт. на 1 м^2. В ходе исследования применялись следующие дозировки препарата: корневая подкормка томатов осуществлялась раствором в концентрации 25 мл на 10 литров воды с расходом 10 литров на квадратный метр. Подкормка проводилась двукратно с интервалом в 15 дней с использованием ручного метода внесения. Эксперимент проводился в пленочной теплице без отопления согласно схеме, представленной в таблице 1.

Объектом исследования является томат обыкновенный (Solanum lycopersicum). В ходе эксперимента использовались три среднеспелых гибрида индетерминантного типа: Матиссимо, Мелодия и Мартэз. Исследование проводилось в пленочной теплице без дополнительного обогрева.

Таблица 1 – Схема исследования
Table 1 – Study design

Вариант / Option	Условия эксперимента / Experimental conditions
1	Контроль Матиссимо / Control Matissimo
2	Контроль Мартэз / Control Marthaz
3	Контроль Мелодия / Control Melodia
4	Матиссимо: без обработки семян, обработка в фазу 3-4 листа / Matissimo without seed treatment, treatment at 3-4 leaf stage
5	Матиссимо: обработка семян, обработка в фазу 3-4 листа / Matissimo seed treatment, treatment at 3-4 leaf stage
6	Матиссимо: обработка семян, обработка семян в фазу 7-8 листьев / Matissimo seed treatment, seed treatment at 7-8 leaf stage
7	Матиссимо: без обработки семян, обработка в фазу 7-8 листьев / Matissimo without seed treatment, treatment at 7-8 leaf stage
8	Мартэз: обработка семян, обработка в фазу 3-4 листа / Marthaz seed treatment, treatment at 3-4 leaf stage
9	Мартэз: без обработки семян, обработка в фазу 3-4 листа / Marthaz without seed treatment, treatment at 3-4 leaf stage
10	Мартэз: обработка семян, обработка в фазу семян 7-8 листа / Marthaz seed treatment, treatment at 7-8 leaf stage
11	Мартэз: без обработки семян, обработка в фазу 7-8 листьев / Marthaz without seed treatment, treatment at 7-8 leaf stage
12	Мелодия: обработка семян, обработка в фазу 3-4 листа / Melodia seed treatment, treatment at 3-4 leaf stage
13	Мелодия: без обработки семян, обработка семян в фазу 3-4 листа / Melodia without seed treatment, seed treatment at 3-4 leaf stage
14	Мелодия: обработка семян, обработка в фазу 7-8 листьев / Melodia seed treatment, treatment in the 7-8 leaf phase
15	Мелодия: без обработки семян, обработка семян в фазу 7-8 листьев / Melodia without seed treatment, seed treatment in the 7-8 leaf phase

Жидкое комплексное удобрение гумат «Здоровый урожай» базируется на гуминовых кислотах и включает микроэлементы в следующем процентном соотношении: гуминовых кислот 75-82 %, азота 0,6-0,7 %, калия 6-6,5 %, магния 0,07 %, железа 0,2 %, марганца 0,1 %, кремния 6-10 %, натрия 3-5 % и бора 0,2 %.

Результаты и обсуждение. В ходе эксперимента изучены биометрические показатели растений. Измерения осуществлялись каждые десять дней. Измеряли высоту растений, подсчитывали количество листьев, данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние гуминового препарата на биометрические показатели растений томата
Table 2 – Effect of humic preparation on biometric parameters of tomato plants

Вариант / Option	Высота растений, см / Plant height, cm			Листьев, шт. / Leaves, pcs.		
	1	2	среднее / average	1	2	среднее / average
1	163	164	164	24,5	26,1	25,3
2	169	170	170	26,0	27,6	26,8
3	180	181	181	28,5	30,1	29,3
4	174	175	175	26,2	27,8	27,0
5	188	189	189	29,4	31,0	30,2
Коэффициент вариации / Variation coefficient			5,51 %			7,19 %
6	165	166	166	24,9	26,9	25,9
7	172	173	173	26,2	27,8	27,0
8	183	184	184	28,9	30,9	29,9
9	176	177	177	26,7	28,3	27,5
10	191	192	192	30,7	32,3	31,5
Коэффициент вариации / Variation coefficient			5,61 %			8,16 %
11	167	168	168	25,2	26,8	26,0
12	174	175	175	26,4	28,0	27,2
13	185	186	186	29,2	30,8	30,0
14	178	179	179	27,3	28,9	28,1
15	195	196	196	31,2	32,8	32,0
Коэффициент вариации / Variation coefficient			5,92 %			8,27 %
НСР 0,5			7,39			1,55

Применение гуминового препарата положительно влияет на рост растений (170-190 см), что на 6-28 см больше по сравнению с контролем. Без обработки семян и подкормок в фазах 3-4 и 7-8 листьев высота растений возрастает по сравнению с контролем, но в меньшей степени – до 170-179 см. При обработке семян и проведении обработок в фазах 3-4 и 7-8 листьев высота растений достигает 181-196 см, что свидетельствует о положительном влиянии гуминового препарата на рост растений.

Аналогичная ситуация наблюдается по количеству листьев растений. Отсутствие предпосевной обработки семян и опрыскивания в фазах 3-4 и 7-8 листьев способствовало повышению изучаемого показателя по сравнению с контролем, однако общее количество образовавшихся листьев на одном растении оказалось ниже от 26,8 до 28,1 шт. В то же время при проведении обработки семян и последующих опрыскиваний в фазах 3-4 и 7-8 листьев фиксируется увеличение числа листьев на стебле до 29,3-32 шт. Изучено влияние гуминового препарата на соцветие и цветков в соцветии томата (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние гуминового препарата на соцветие и цветков в соцветии томата
Table 3 – Effect of humic preparation on inflorescence and flowers in tomato inflorescence

Вариант / Option	Соцветий, шт. / Inflorescences, pcs			Цветков в соцветии, шт. / Flowers in an inflorescence, pcs		
	1	2	среднее / average	1	2	среднее / average
1	4,4	6,0	5,2	4,7	6,3	5,5
4	5,2	6,8	6,0	5,4	7,0	6,2
5	5,7	7,3	6,5	6,3	7,9	7,1
7	5,5	7,1	6,3	5,9	7,5	6,7
6	5,9	7,5	6,7	6,7	8,3	7,5
Коэффициент вариации / Variation coefficient			9,54 %			11,83 %
2	4,8	6,4	5,6	5,0	6,6	5,8
9	5,3	6,9	6,1	5,5	7,1	6,3
8	5,8	7,4	6,6	6,5	8,1	7,3
11	5,5	7,1	6,3	6,0	7,6	6,8
10	6,0	7,6	6,8	6,9	8,5	7,7
Коэффициент вариации / Variation coefficient			7,42 %			11,20 %
3	4,9	6,5	5,7	5,1	6,7	5,9
13	5,4	7,0	6,2	5,7	7,3	6,5
12	5,8	7,4	6,6	6,8	8,4	7,6
15	5,6	7,2	6,4	6,1	7,7	6,9
14	6,2	7,8	7,0	7,2	8,8	8,0
Коэффициент вариации / Variation coefficient			7,55 %			12,05 %
НСР 0,5			0,43			0,58

На растениях в вариантах контроля сформировалось от 5,2 до 5,7 соцветий. В вариантах, где семена не подвергались обработке, а также в вариантах с обработкой в фазах 3-4 и 7-8 листьев, изучаемый показатель составлял от 6 до 6,4 соцветий. После обработки семян гуминовым препаратом и проведения обработки в фазах 3-4 и 7-8 листьев количество соцветий возросло до 6,5-6,9 шт.

Число цветков в соцветии варьировало по контрольным вариантам опыта от 5,5 до 5,9 шт. В вариантах без обработки семян и обработки в фазу 3-4 и 7-8 листьев, отмечено увеличение количества цветков в соцветии, и количественный диапазон составлял от 6,2 до 6,9 шт. Наибольшее количество цветков в соцветии наблюдалось при обработке семян гуминовым препаратом и обработках в фазах 3-4 и 7-8 листьев – 7,1-8 шт.

Урожайность представляет собой результат всех протекающих в растении биологических процессов, и ее изменения зависят как от генетических характеристик сорта, так и от внешних условий. В процессе наших исследований мы выяснили, что различные факторы воздействуют на рост и развитие растений, что значительно повлияло на урожайность томата (таблица 4).

Таблица 4 – Влияние гуминового препарата на урожайность томата
Table 4 – Effect of humic preparation on tomato yield

Вариант / Option	Урожайность, кг/м^2 / Yield, kg/m^2		
	1	2	среднее / average
1	20,2	21,8	21,0
4	21,0	22,6	21,8
5	22,8	24,4	23,6
7	21,7	23,3	22,5
6	23,4	25,0	24,2
Коэффициент вариации / Variation coefficient			5,75 %
2	20,5	22,1	21,3
9	21,2	22,8	22,0
8	23,0	24,6	23,8
11	22,2	23,8	23,0
10	23,6	25,2	24,4
Коэффициент вариации / Variation coefficient			5,54 %
3	20,7	22,3	21,5
13	21,5	23,1	22,3
12	23,2	24,8	24,0
15	22,7	24,3	23,5
14	24,2	25,8	25,0
Коэффициент вариации / Variation coefficient			7,40 %
НСР 0,5			0,91

Урожайность в контрольных вариантах варьируется от 21,0 до 21,5 кг/м^2. В вариантах, где семена не обрабатывались, а также в случаях обработки на фазах 3-4 и 7-8 листьев, отмечается прирост урожайности томатов в пределах от 21,8 до 23,3 кг/м^2. Наибольшее увеличение урожайности фиксируется при обработке семян гуминовым препаратом и обработке в фазах 3-4 и 7-8 листьев, составляя 23,6-25,0 кг/м^2 на растение. Нами проанализированы изменения биометрических показателей растений томата таблица 5.

Таблица 5 – Относительные изменения биометрических показателей растений с урожайностью томата, %
Table 5 – Relative changes in biometric indicators of plants with tomato yield, %

Вариант / Option	Высота растений / Plant height	Листья / Leaves	Соцветия / Inflores-cences	Цветков в соцветии / Flowers in the inflorescence	Плоды / Fruits	Урожай-жай-ность / Yield
относительно к 1 / relative to 1						
4	3,53	5,60	13,33	11,29	12,82	3,67
5	9,39	13,65	20,00	22,54	27,66	11,02
7	6,29	6,30	17,46	17,91	22,73	6,67
6	13,23	16,23	22,39	26,67	30,61	13,22
относительно к 2 / relative to 2						
9	4,05	4,81	8,20	7,94	10,00	3,18
8	9,78	13,47	15,15	20,55	23,40	10,50
11	6,21	6,55	11,11	14,71	20,00	7,39
10	13,54	18,41	17,65	24,68	28,00	12,70
относительно к 3 / relative to 3						
13	4,00	4,41	8,06	9,23	9,52	3,59
12	9,68	13,33	13,64	22,37	20,83	10,42
15	6,15	7,47	10,94	14,49	17,39	7,73
14	14,29	18,75	17,39	26,25	26,92	14,00

По данным таблицы можно сделать вывод, что для всех гибридов при условии отсутствия обработки семян, а также обработки в фазах 3-4 и 7-8 листьев, наблюдается уменьшение относительных показателей по всем параметрам. По результатам наших исследований стало очевидно, что изучаемые нами факторы, влияющие на рост и развитие растений томата, в конечном итоге оказали влияние на урожайность культуры. Обработка семян в сочетании с обработкой в фазы 7-8 листьев и 3-4 листьев для гибридов томата является наиболее продуктивной по всем показателям и урожайность составила от 10 до 14 %.

Заключение. Двухлетнее изучение показало, что при выращивании томатов в тепличных условиях лучшие результаты по скорости роста и биометрическим параметрам демонстрируют растения, семена которых были обработаны, а также прошедшие обработку в фазе 3-4 и 7-8 листьев. Высота этих растений достигала 181-196 см, формируя от 29,3 до 32 листьев. Отмечалось увеличение количества соцветий на 6,5-6,9 шт. и плодов – на 4,7-5,2 шт. В результате, урожайность увеличилась на 10-14 %. В контрольных вариантах, где семена не обрабатывались, а обработка проводилась только в фазах 3-4 и 7-8 листьев, наблюдались значительно более скромные показатели: высота растений – 170-179 см, количество листьев – 26,8-28,1 шт., соцветий – 6-6,4 шт. и плодов – 3,9-4,6 шт., урожайность – от 3 до 7,73 %.

Conclusion. A two-year study showed that when growing tomatoes in greenhouse conditions, the best results in terms of growth rate and biometric parameters were achieved by plants whose seeds were treated, as well as those that were treated in the 3-4 and 7-8 leaf stages. These plants reached a height of 181-196 cm and produced 29.3 to 32 leaves. There was an increase in the number of inflorescences by 6.5-6.9 and fruits by 4.7-5.2. As a result, the yield increased by 10-14 %. In the control variants, where the seeds were not treated, and treatment was carried out only in the 3-4 and 7-8 leaf phases, significantly more modest results were observed: plant height of 170-179 cm, number of leaves 26.8-28.1, inflorescences 6-6.4, and fruits 3.9-4.6 yield from 3 to 7.73 %.

Библиографический список

1. Шибзухов З. Г. С. и др. Интенсивность роста и развития томата при применении регуляторов роста. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 3 (107). С. 57-66.
2. Соколовская Т. В., Авдеенко С. С., Авдеенко А. П. Влияние стимуляторов роста на развитие рассады томата. Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 1 (17). С. 79-85.
3. Соромотина Т. В. Влияние гуминовых препаратов на биометрические показатели растений томата при выращивании в весенних пленочных теплицах. Пермский аграрный вестник. 2021. № 4 (36). С. 85-91.
4. Соколовская Т. В., Авдеенко А. П., Авдеенко С. С. Применение стимуляторов роста в технологии возделывания томата открытого грунта. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (46). С. 53-62.
5. Пигорев И. Я. и др. Эффективность жидких стимуляторов корнеобразования в условиях защищенного грунта. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. Т. 64. № 1 (379). С. 46-49.
6. Езиев М. И., Шибзухов З. Г. С. Эффективная технология выращивания овощных культур. NovaInfo.Ru. 2017. Т. 1. № 61. С. 144-148.
7. Зверев М. В. Силу биоперепаратов в продуктивное русло. Гавриш. 2018. № 4. С. 26-27.
8. Литвинов С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Россельхозакадемия, 2011. 650 с.
9. Назранов Х. М. и др. Интенсивная технология производства органической овощной продукции: монография. Нальчик, 2019. 176 с.
10. Нугманова Т. А. Биопрепараты в овощеводстве и картофелеводстве. Картофель и овощи. 2017. № 6. С. 2-4.
11. Пигорев И. Я. и др. Эффективность жидких стимуляторов корнеобразования в условиях защищенного грунта. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. Т. 64. № 1 (379). С. 46-49.
12. Шибзухов З. Г. С., Езаов Ф. К., Шугушхов А. А. Влияние регуляторов роста на продуктивность томата. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2016. № 2 (12). С. 27-32.
13. Anwar A. et al. The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: the review. Biol. Res. 2018. V. 51. Pp. 46-61.
14. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and Soil. 2014. V. 383 (1). Pp. 3-41.
15. Canellas L. P. et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae. 2015. V. 196. Pp. 15-27.
16. Степанова Д. И. и др. Влияние подкормок йодом на продуктивность огурца в условиях защищенного грунта арктической зоны Якутии. Агрохимический вестник. 2021. № 3. С. 57-61.
17. Ноздрачева Р. Г. и др. Эффективность применения регулятора роста Энергия-М на томате. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2017. № 3. С. 43-49.
18. El-Desouky Heba S. et al. Nano iron fertilization significantly increases tomato yield by increasing plants' vegetable growth and photosynthetic efficiency. Journal of Plant Nutrition. 2021. Vol. 44. Pp. 1649-1663.
19. Shahriari M. F., Abedi B. Investigation of the Effect of Foliar Application of Seaweed Extract as growth bio stimulants (Ascophyllum nodosum) on Quantitative and Qualitative Characteristics of Three Tomato Cultivars (Solanum Lycopersicon Mill). World Journal of Environmental Biosciences. 2019. V. 8. Pp. 19-22.
20. Авдеенко С. С. и др. Изучение эффективности применения стимуляторов роста на посадках перца сладкого. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (38). С. 5-13.

References

1. Shibzukhov Z. G. S. et al. The intensity of tomato growth and development when using growth regulators. Proceedings of the Kabardino-Balkaria Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022. No 3 (107). Pp. 57-66.
2. Sokolovskaya T. V., Avdeenko S. S., Avdeenko A. P. The effect of growth stimulants on the development of tomato seedlings. Proceedings of the Dagestan SAU. 2023. No 1 (17). Pp. 79-85.
3. Soromotina T. V. Influence of humic preparations on biometric indicators of tomato plants when grown in spring film greenhouses. Perm Agrarian Bulletin. 2021. No 4 (36). Pp. 85-91.
4. Sokolovskaya T. V., Avdeenko A. P., Avdeenko S. S. Application of growth stimulants in the technology of open-field tomato cultivation. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2022. No 4 (46). Pp. 53-62.

5. Pigorev I. Ya. et al. The effectiveness of liquid root formation stimulants in protected soil conditions. International Agricultural Journal. 2021. V. 64. No 1 (379). Pp. 46-49.
6. Eziev M. I., Shibzukhov Z. G. S. Effective technology for growing vegetable crops. NovaInfo.Ru. 2017. V. 1. No 61. Pp. 144-148.
7. Zverev M. V. Putting the power of biological products to productive use. Gavrish. 2018. No 4. Pp. 26-27.
8. Litvinov S. S. Methodology of Field Experiment in Vegetable Growing. Moscow: Rosselkhozakademiya, 2011. 650 p.
9. Nazranov Kh. M. et al. Intensive Technology of Organic Vegetable Production: Monograph. Nalchik, 2019. 176 p.
10. Nugmanova T. A. Biological preparations in vegetable and potato growing. Potato and vegetables. 2017. No 6. Pp. 2-4.
11. Pigorev I. Ya. et al. Effectiveness of liquid root formation stimulants in conditions of a protected soil. International agricultural journal. 2021. V. 64. No 1 (379). Pp. 46-49.
12. Shibzukhov Z. G. S., Ezaov F. K., Shugushkhov A. A. Influence of Growth Regulators on Tomato Productivity. Izvestiya of Kabardino-Balkaria State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2016. No 2 (12). Pp. 27-32.
13. Anwar A. et al. The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: the review. Biol. Res. 2018. V. 51. Pp. 46-61.
14. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and Soil. 2014. V. 383 (1). Pp. 3-41.
15. Canellas L. P. et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae. 2015. V. 196. Pp. 15-27.
16. Stepanova D. I. et al. The effect of iodine fertilization on cucumber productivity in the protected soil of the Arctic zone of Yakutia. Agrochemical Bulletin. 2021. No 3. Pp. 57-61.
17. Nozdracheva R. G. et al. The effectiveness of using the growth regulator Energiya-M on tomatoes. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2017. No 3. Pp. 43-49.
18. El-Desouky Heba S. et al. Nano iron fertilization significantly increases tomato yield by increasing plants' vegetable growth and photosynthetic efficiency. Journal of Plant Nutrition. 2021. Vol. 44. Pp. 1649-1663.
19. Shahriari M. F., Abedi B. Investigation of the Effect of Foliar Application of Seaweed Extract as growth bio stimulants (Ascophyllum nodosum) on Quantitative and Qualitative Characteristics of Three Tomato Cultivars (Solanum Lycopersicon Mill). World Journal of Environmental Biosciences. 2019. V. 8. Pp. 19-22.
20. Avdeenko S. S. et al. Study of the Effectiveness of Using Growth Stimulants on Sweet Pepper Plantations. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2020. No 2 (38). Pp. 5-13.

Информация об авторах
Кузнецов Александр Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкова» (Российская Федерация, 650056, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5), e-mail: ya.sachakuznezov@ya.ru
Сергеева Ираида Анатольевна, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкова» (Российская Федерация, 650056, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5), e-mail: ya.sachakuznezov@ya.ru
Степанова Дария Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, г. Якутск, Сергеляхское ш. 3 км), e-mail: dariv08@mail.ru
Григорьев Михаил Федосеевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор высшей аграрной школы, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В. Н. Полецкова» (Российская Федерация, 650056, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5), e-mail: grig_mf@mail.ru

Authors' Information
Kuznetsov Aleksander Sergeevich, postgraduate student, Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov (Russian Federation, 650056, Kemerovo, Markovtseva Str., 5), e-mail: ya.sachakuznezov@ya.ru
Sergeeva Iraida Anatolievna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Pedagogical Technologies, Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov (Russian Federation, 650056, Kemerovo, Markovtseva str., 5), e-mail: ya.sachakuznezov@ya.ru
Stepanova Daria Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, Arctic State Agro-technological University (Russian Federation, 677007, Yakutsk, Sergelyakhskoe highway 3 km), e-mail: dariv08@mail.ru
Grigorev Mikhail Fedoseevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Higher Agrarian School, Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov (Russian Federation, 650056, Kemerovo, Markovtseva str., 5), e-mail: grig_mf@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-31

THE CHICKPEA CULTIVATION AGRICULTURAL AND ECOLOGICAL FEATURES UNDER THE KALMYKIA REPUBLIC DARK BROWN SOILS' CONDITIONS

[1]Orosov S. A., [2]Petrov N. Yu., [1]Batyrov V. A., [2]Kuznetsova N. V., [2]Khavronina V. N.

[1]Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Republic of Kalmykia, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sanan.orosov@mail.ru

Received 15.03.2026 Submitted 21.05.2026

Abstract
Introduction. The acute shortage of plant-based high-grade protein does not allow us to fully meet the goal of providing food to the population, which entails, first of all, increased costs in the reproduction of feed for farm animals, which subsequently leads to a significant increase in the cost of animal products. According

to V. V. Balashov (2001) "... in the Lower Volga region, legumes and legumes can significantly preserve and increase the fertility of low-cultivated zonal soils, reduce the need for high-value mineral fertilizers (containing nitrogen), and grow an environmentally friendly product. Therefore, in the dry-steppe, sharply arid region of the Republic of Kalmykia, rather drought-resistant leguminous crops such as chickpeas and peas, which have advantages and are characterized by relative unpretentiousness to soils, should be cultivated on a subtype of light chestnut and chernozem soils. **Object.** Ecological testing of chickpea varieties Volgogradsky 10, Volzhanin, and Privo 1 was carried out at the Faculty of Agriculture of KalmSU. **Materials and methods.** The observations, analyses, and records performed corresponded to generally accepted methods. Tabular and graphical representations of experimental data were applied. The methodological approaches of the research were presented by studying the scientific literature of domestic and foreign authors. **Results and conclusions.** Improving the level of mineral nutrition in chickpea crops to $N_{45}P_{60}$ had a significant impact on the dynamics of linear plant growth in all studied varieties. Moreover, with an increase in the density of standing plants, the linear growth of chickpea plants also increased. The maximum values were at a sowing density of 400 thousand plants per hectare, and for the «Volgogradsky 10» variety they were 0.53 meters, and for the 0.50 meter variety.

Keywords: *chickpeas, chickpea varieties, chickpea cultivation, soil conditions for chickpea cultivation, chickpea mineral nutrition, vegetable protein sources.*

Citation. Orosov S. A., Petrov N. Yu., Batyrov V. A., Kuznetsova N. V., Khavronina V. N. The chickpea cultivation agricultural and ecological features under the Kalmykia Republic dark brown soils' conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 278-286 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2026-03-31.
Authors' contribution. The authors of this study directly participated in the formulation of the program, the planning of the experiment, the accounting and analysis of the data obtained, in the presentation of conclusions and the formation of proposals to production. The authors of this article have studied and approved the final version of the article.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 635.657-153(470.47)

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ НУТА НА КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ

[1]**Оросов С. А.,** *старший преподаватель*
[2]**Петров Н. Ю.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]**Батыров В. А.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Кузнецова Н. В.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Хавронина В. Н.,** *кандидат технических наук, доцент*

[1]Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова
г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Острый дефицит полноценного растительного белка не позволяет в полной мере обеспечить продовольственную безопасность населения, что влечет за собой прежде всего повышенные затраты на производство кормов для сельскохозяйственных животных, а в последующем приводит к существенному удорожанию себестоимости продуктов животного происхождения. По мнению В. В. Балашова (2001) «…в зоне Нижневолжского региона бобовые и зернобобовые культуры могут в существенной мере сохранять и увеличивать плодородие низко окультуренных зональных почв, снижать потребность в высоко стоящих минеральных удобрениях (содержащих азот), выращивать экологически чистый продукт. Поэтому в сухостепной резко засушливой зоне Республики Калмыкия на подтипе светло-каштановых и черноземных почв следует возделывать довольно засухоустойчивые зернобобовые культуры, такие как нут и горох, которые имеют преимущества, и им присуща относительная неприхотливость к почвам. **Объект.** На аграрном факультете КалмГУ проводились экологическое испытание сорта нута «Волгоградский 10», «Волжанин», «Приво 1». **Материалы и методы.** Проведенные наблюдения, анализы и учеты соответствовали общепринятым методикам. Были применены табличные и графические отображения экспериментальных данных. Методологические подходы исследований были представлены изучением научной литературы отечественных и зарубежных авторов. **Результаты и выводы.** Улучшение уровня минерального питания в посевах нута до $N_{45}P_{60}$ оказало существенное влияние на динамику линейного прироста растений по всем изучаемым сортам. Причем с повышением густоты стояния растений увеличивался и линейный рост растений нута. Максимальные показатели составляли при густоте посева 400 тыс. растений на гектар и у сорта «Волгоградский 10» они были равны 0,53 метра, а у сорта «Волжанин» 0,50 метра.

Ключевые слова**:** *нут, сорта нута, возделывание нута, почвенные условия возделывания нута, минеральное питание нута, источники растительного белка.*

Цитирование. Оросов С. А., Петров Н. Ю., Батыров В. А., Кузнецова Н. В., Хавронина В. Н. Агроэкологические особенности возделывания нута на каштановых почвах Республики Калмыкия. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 278-286. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-31.
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. На долю основных зернобобовых культур (соя, горох и бобы) приходится около одной трети объема. Высокий уровень БФА является основой успешного и устойчивого производства. Агрономический успех зернобобовых культур в значительной степени зависит от количества азота, фиксированного в клубеньках их корневой системы. Это означает, что необходимо уделять внимание установлению и поддержанию симбиоза между растением-хозяином и бактериями родов Rhizobium и Bradyrhizobium. Общее количество фиксированного азота обычно составляет от 100 до 300 кг N/га в зависимости от таких факторов, как вид бобовых (и сорт), продолжительность вегетационного периода и условия окружающей среды. Симбиоз между бактериями почвы и бобовыми растениями способствует поглощению азота самими растениями и обогащает почву азотом через корневые экссудаты и остатки, что делает бобовые культуры предпочтительным предшественником для многих других культур. Выращивание бобовых – это дешёвый и доступный способ обогащения почвы азотом. Включение их в севообороты создает благоприятные условия для выращивания последующих культур с меньшим использованием синтетических азотных удобрений» [2-3,11-16]. По данным В. В. Бородычева (2019) и других «…при возделывании нута в северо-западной зоне Ростовской области на черноземе южном лучшим способом основной обработки почвы после озимой пшеницы является вспашка на глубину 0,25-0,27 м. Наибольшая урожайность нута (1,70 т/га) получена при сочетании: посев после вспашки на фоне экстрасола, инокуляция семян ризоторфином и припосевное внесение аммофоса в дозе $N_{12}P_{50.}$ Прибавка к контролю составила 0,61 т/га, или 56,0 %. В варианте опыта, где ризоторфин не использовался, клубеньковые бактерии не образовывались.

Наибольшее количество фосфорной кислоты наблюдалось в период ветвления и цветения нута в вариантах с применением аммофоса. Азотно-фосфорные удобрения внесенные как отдельно, так и с ризоторфином, способствовали накоплению фосфатов в почве, к фазе плодообразования в почве содержалось 19,7-19,8 мг/кг подвижных фосфатов» [1].

Материалы и методы. Агротехника возделывания нута отвечала требованиям зональных рекомендаций по выращиванию культуры в зоне сухих степей на почвах каштанового типа.

Предшественником нута в полевом опыте был яровой ячмень. После уборки предшествующей культуры осуществлялось лущение стерни, затем осенью проводилась отвальная обработка на 0,20-0,22 м, а весной покровное боронование и культивация с боронованием для разравнивания поверхности почвы на опытном участке и подавления проростков сорняков. Высев семян нута осуществляли сеялкой СУПН-8 при устойчивом прогревании глубины заделки семян до +12...+14 ºС согласно изучаемой норме посева. Перед проведением посевной кампании нута проводили предпосевную культивацию на глубину заделки семян. Для посева был взят посевной материал 1-й репродукции районированных сортов. Глубина заделка семенного материала в почву составляла 0,07-0,08 м. Принятая технология, в основном, соответствовала общепринятым рекомендациям. Технология посева незначительно зависела от вида предшествующей обработки почвы.

Фактор А – изучалось три дозы азотных и фосфорных удобрений P_{40}; $N_{30}P_{40}$; $N_{45}P_{60}$ и контроль – без удобрений.

Фактор В – четыре нормы посева: 0,25, 0,30, 0,35 и 0,40 млн шт. всхожих зерен на 1 га. Способ посева – широкорядный с междурядьем в 0,45 м.

Для подавления сорной растительности осуществляли внесение до посева почвенного гербицида «Дуалд Голд» из расчета 1,5 л/га ранцевым опрыскивателем с заделкой в почву. В фазе ветвления до цветения осуществляли опрыскивание контактными гербицидами «Фюзилад Форде» в дозе 1,21 л/га удобрения в дозе P_{40} применяли дробно под основную обработку почвы в дозе P_{25-45} и вместе с семенами P_{15}. Азотные удобрения (мочевина в дозе) N_{30} и N_{45} использовали под предпосевную культивацию вручную.

Уход за посевами состоял из послепосевного прикатывания почвы кольчатыми катками и одной междурядной обработки на широкорядных посевах. По ходу исследований анализировали динамику прироста растений нута, осуществляли наблюдения за прохождением каждой фазы развития, определяли структуру и величину урожая, вычисляли коэффициент размножения семян и их посевные значения. Уборку урожая осуществляли сплошным способом, поделяночно вручную и подсчитывали хозяйственный урожай.

Результаты и обсуждение. С целью получения полноценных репродукционных процессов в посевах нута сорта Волгоградский 10, который был принят за стандарт, необходимо 1825 °С.

Показатели длительности этапов вегетации нута в 2015-2016 годах были практически идентичными. Суммарное количество продуктивных осадков (больше 5 мм) за все время вегетации в эти годы составляло от 86,9 мм и 80,6 мм. В 2015 году посев нута проводился 22 апреля, а в 2016 году – 11 апреля.

Продолжительность вегетационного периода определялась по активности изначального роста и развития. Наиболее оптимальные характерные особенности для прорастания семенного материала устанавливались в 2015 году, когда всходы появлялись на 8-10 сутки, в последующие годы на 11-14 сутки.

Таблица 1 – Межфазные периоды сортов нута (среднее за 2015-2016 гг.)
Table 1 – Interphase periods of chickpea varieties (average for 2015-2016)

Сорт / Variety	Посев-всходы / Sowing-shoots	Всходы-цветение / Shoots-flowering	Цветение-созревание / Flowering-ripening	Продолжительность вегетации, суток / Duration of vegetation, days
Волгоградский 10 / Volgogradsky 10	11	34	66	111
Волжанин / Volzhanin	12	36	69	117
Приво-1 / Privo-1	12	37	68	117

Исходные значения изучаемого фактора этапа «посев-всходы» у сортов составляли в среднем 11 суток, «всходы-цветение» для сорта «Волгоградский 10» – 34, для сорта «Приво-1» – 37 и для сорта «Волжанина» – 36 суток. Период «цветение-созревание» длился 66, 68 и 69 суток, соответственно.

Опираясь на полученные материалы, сорта «Приво-1» и «Волжанин», по сравнению с сортом «Волгоградский 10», характеризовались наиболее длительным вегетационным периодом. Разница от фазы всходов до фазы созревания семян составляла 5 суток. Продолжительность фазы «посев – полные всходы» равнялось 11-14 суток, полные «всходы-бутонизация» – 29-30 суток. Средняя продолжительность фазы «цветение-созревание бобов» за годы проведения эксперимента составляла не более 43 суток, а общая длительность всего периода вегетации равнялась 111 суткам (таблица 1). Общая сумма температур для окончания вегетации нута сорту «Волгоградский 10» составляла 1760…1890 °С, накопленных среднесуточных температур воздуха.

Высота растений в этом периоде развития нута изменялась в зависимости от водообеспечения и улучшения уровня минерального питания, достигнув на варианте без удобрений – 0,22 м, на варианте с удобрением $N_{30}P_{40}$ – 0,26 м и варианте $N_{45}P_{60}$ – 0,27 м.

В фазе созревания зерна высота растений составляла: 0,37 м, 0,47 м и 0,49 м соответственно.

У сорта «Волжанин» наблюдалась аналогичная закономерность в линейном росте, следует отметить, что показатели линейного роста по фазам развития были на 1-2 порядка ниже, чем у сорта «Волгоградский 10».

Улучшение уровня минерального питания в посевах нута до $N_{45}P_{60}$ оказало существенное влияние на динамику линейного прироста растений по всем изучаемым сортам. Причем с повышением густоты стояния растений увеличивался и линейный рост растений нута. Максимальные показатели составляли при густоте посева 400 тыс. растений на гектар и у сорта «Волгоградский 10» они были равны 0,53 метра, а у сорта «Волжанин» 0,50 метра (см. рисунок 1, 2).

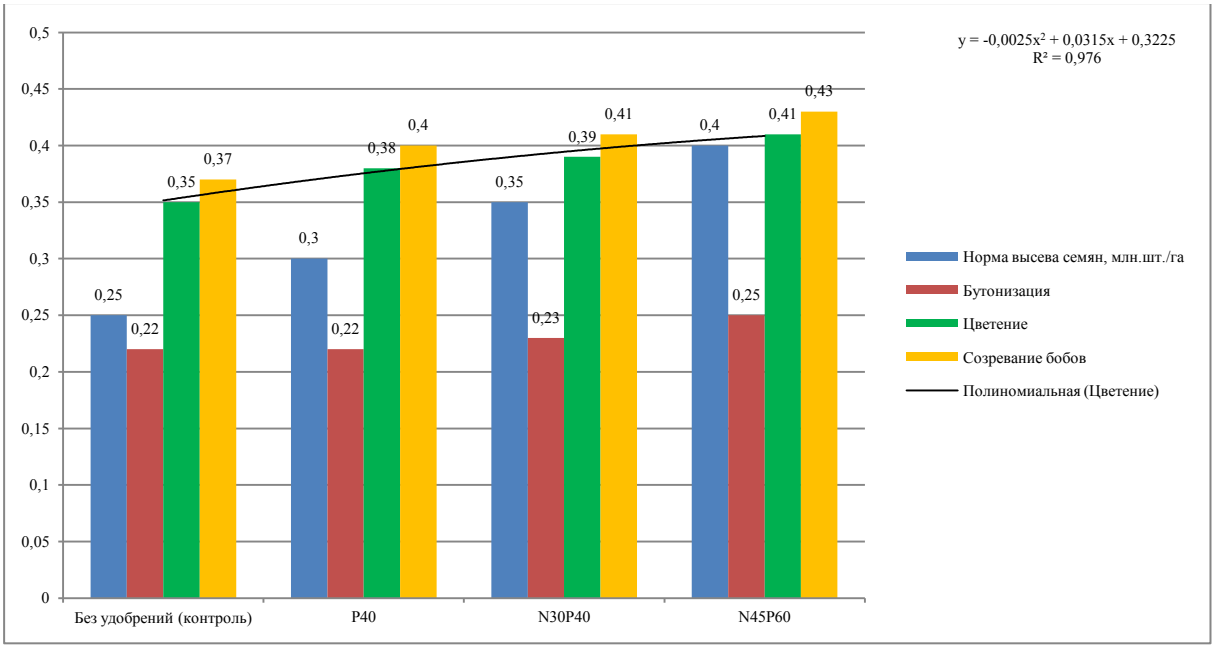


Рисунок 1 – Линейный рост нута в зависимости от уровня минерального питания и нормы высева семян сорта «Волгоградский 10», м (среднее за 3 года)
Figure 1 – Linear growth of chickpeas depending on the level of mineral nutrition and the seeding rate for the Volgogradsky 10 variety, m (average for 3 years)

Данные по результатам ранее проведенных исследований убедительно доказывают, что впервые периоды роста и развития нута растения отличаются незначительным линейным ростом. К начальному этапу ветвления высота растений достигала 0,10-0,15 м. Внесение расчетных доз минеральных удобрений не оказывало на линейный прирост существенного влияния. Значимые изменения в росте растений по вариантам наблюдений опыта были отмечены в период бутонизации.

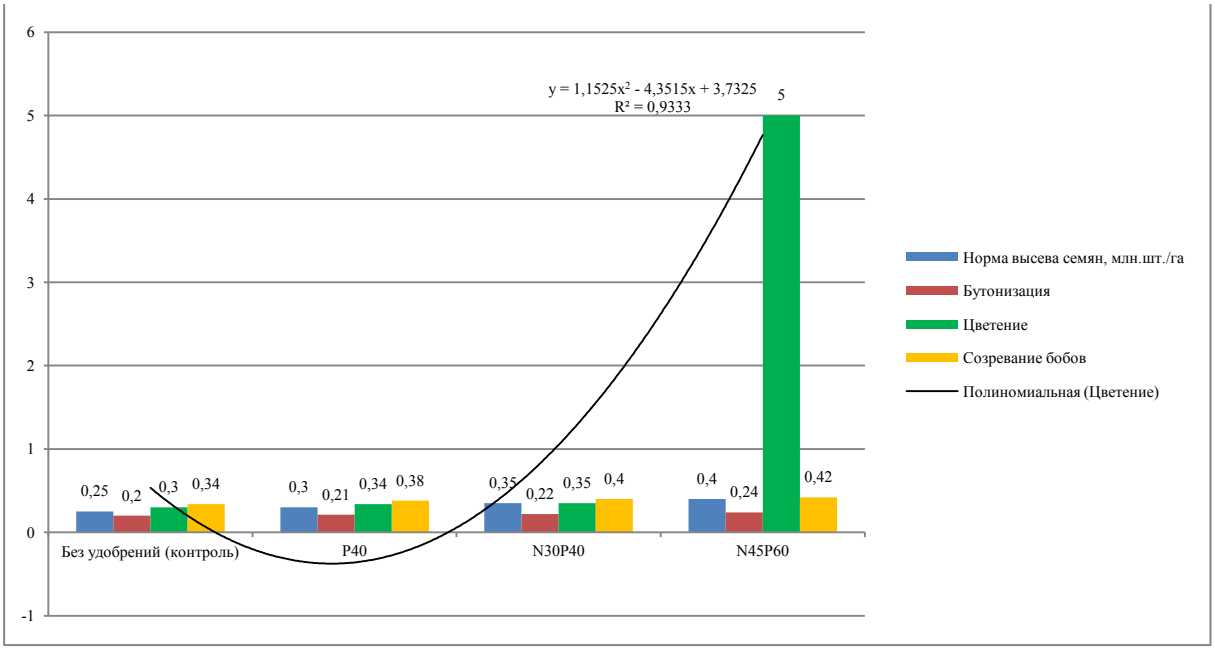


Рисунок 2 – Линейный рост нута в зависимости от уровня минерального питания и нормы высева семян сорта «Волжанин», м (среднее за 3 года)
Figure 2 – Linear growth of chickpeas depending on the level of mineral nutrition and the seeding rate for the "Volzhanin" variety, m (average for 3 years)

В начальные фазы вегетации растения нута растут довольно медленно и могут заметно угнетаться нежелательной сорной растительностью. В наших экспериментальных исследованиях наиболее встречаемыми видами оказались такие, как ширица запрокинутая (Amaranhusretrotlexus), щетинник сизый (Setariaglanca), из многолетних вьюнок полевой (Convolvulusarvensis)» [4-5, 6-10]. Было установлено, что засоренность посевов снижалась при увеличении нормы посева и применении широкорядного способа посева.

Таблица 2 – Численный состав сорной растительности в посевах нута сорта «Волжанин» при широкорядном способе посева
Table 2 – Numerical composition of weeds in chickpea crops of the "Volzhanin" variety with a wide-row sowing method

Норма посева млн, шт/га / Sowing rate million, pcs/ha	Вид посева / Type of sowing	Кол-во сорняков, шт./м^2 / Number of weeds, pcs/m^2		Масса сорняков, г/м^2 / Weight of weeds, g/m^2	
		Однолетние / annual	Многолетние / perennial	сырая / wet	сухая / dry
0,250	Широкорядный 0,45 м / Wide-row 0.45 m	2	3	90,5	24,4
0,300		2	2	67,2	20,2
0,350		2	2	51,7	18,5
0,400		2	1	44,4	10,2

Таблица 3 – Численный состав сорной растительности в посевах нута сорта «Волгоградский 10» при широкорядном способе посева
Table 3 – Numerical composition of weeds in chickpea crops of the Volgogradsky 10 variety when sown in wide rows

Норма посева млн, шт/га / Sowing rate million, pcs/ha	Вид посева / Type of sowing	Кол-во сорняков, шт./м^2 / Number of weeds, pcs/m^2		Масса сорняков, г/м^2 / Weight of weeds, g/m^2	
		Однолетние / annual	Многолетние / perennial	сырая / wet	сухая / dry
0,250	Широкорядный 0,45 м / Wide-row 0.45 m	2	2	75,6	22,5
0,300		2	2	54,3	18,4
0,350		1	1	42,8	16,3
0,400		1	1	37,6	9,1

Данные таблицы 2 показали, что в среднем за 2015-2017 гг. на варианте с нормой высева 0,250 млн/га их отмечалось до 5 штук на 1 м^2, а при норме высева 0,350-0,400 млн, уменьшилось до – 3-4 штук, из-за этого сырая их масса была на уровне 51,7 и 44,4 г/м^2.

Исходя из материалов таблицы 3, за три года (2015-2017 гг.) по воздушно-сухой массе наименьшее число сорняков оказалось на вариантах с двукратным применением препаратов: довсходового гербицида «Дуал Голд» и послевсходового «Фюзилад Форте», где на варианте без применения гербицидов показатель составил порядка 102,4 г/м^2, а с использованием препаратов уменьшился до 42,2-18,6 г/м^2.

Таблица 4 – Влияние гербицидов на воздушно-сухую массу сорных растений
Table 4 – Effect of herbicides on the air-dry mass of weeds

Агрофон / Agricultural background	Норма внесения, л/га / Application rate, l/ha	Дата внесения / Date of application	Масса сорняков, г/м^2 / Weed mass, g/m^2
Контроль (б/г) / Control (b/d)	-	-	102,4
Дуал Голд / Dual Gold	1,5	До посева / Before sowing	42,2
Дуал Голд + Фюзилад Форте / Dual Gold + Fusilade Forte	1,5 + 1,2	До посева + после всходов / Before sowing + after germination	18,6

Полученные данные по численному составу сорной растительности в посевах нута (таблица 3, 4) говорят о том, что количество сорняков на широкорядных посевах было относительно низким и представляло характер колебания от 2 до 6 сорняков на 1 м^2 после образования всходов нута. К моменту уборки их число, закономерно, не превышало 2-3 шт./м^2, это было результатом подавления их путем проведения опрыскивания препаратами в первоначальные этапы вегетационного периода культуры.

Наибольший показатель сухой биомассы сорняков в 24,2 г/м^2 был отмечен при норме посева 250 тыс. шт./га и менее всего он был при норме 400 тыс. растений/га. Сухая биомасса сорной растительности в широкорядных посевах нута, к началу уборки, в зависимости от густоты стеблестоя растений, менялась в пределах от 7,1 до 9,6 г/м^2.

Из полученного следует, что возделывание нута широкорядным способом способствовало снижению засоренности. Среди сорных растений больше всего было вьюнка полевого, щетинника сизого при средней сухой массе не более 24 г/м^2.

Таблица 5 – Эффективность применения препарата «Десант» в борьбе с вредителями нута сорта «Волгоградский 10» в Учхозе за 2017-2019 гг.
Table 5 – The effectiveness of the drug "Desant" in the control of chickpea pests of the Volgogradsky 10 variety in the Uchkhoz for 2017-2019.

Вариант опыта / Experiment option	Урожайность зерна нута, т/га / Chickpea grain yield, t/ha			Среднее / Average	Прибавка урожая / yield increase	
	2017 г	2018 г	2019 г		т/га, t/ha	%
Контроль (б/о) / Control	1,64	1,54	1,71	1,62	-	-
Десант 400 г/л, кэ / "Desant", 400 g/l, ca	1,89	1,73	1,86	1,83	0,21	13,0
НСР 0,5	0,08	0,06	0,09	-	-	-

Из представленных материалов следует, что за рассматриваемые годы инсектицид постоянно воздействовал на вредителей, что отразилось на продуктивности нута. При этом по годам наблюдалось достоверное увеличение урожайности этой культуры. Все это позволило в среднем за три года достичь уровня продуктивности до 1,83 т/га при увеличении сбора зерна на 13,0 %, по сравнению с необработанным контролем (таблица 5).

Помимо вредителей, которые по наносимому урожаю ущербу занимали первое место, определенное снижение продуктивности нута вызывали некоторые болезни этой культуры, такие как аскохитоз, мучнистая роса, пероноспороз и другие заболевания.

Заключение. Внесение удобрений способствовало активизации почвенных клубеньковых бактерий, а также биологической активности почвы в целом. Использование двукратного опрыскивания гербицидами сначала почвенным «Дуал Голд», а затем послевсходовым «Фюзилад Форте» сильно угнетало вегетирующие сорные растения в посевах. На более изреженных посевах число сорняков оказалось больше, чем на вариантах с большей густотой.

Основными вредителями растений нута в условиях Республики Калмыкия следует признать лугового мотылька, бобовую огневку, хлопковую совку и некоторые другие виды, развитие которых может резко снизить продуктивность данной культуры. Для борьбы с ними необходимо использовать инсектициды, причем неоднократно, при достижении критических значений ЭПВ. В нашем случае мы использовали классическую фосфороорганику – инсектицид «Десант» (1,0 л/га), который в среднем за 2017-2019 гг. обеспечил увеличение сбора зерна на 0,21 т/га или 18 %, по сравнению с необработанными посевами.

Conclusions. Fertilization also contributed to the activation of soil nodule bacteria as well as the biological activity of the soil as a whole. The use of 2-fold spraying with herbicides, first with soil-based Dual Gold, and then with post-emergence «Fusilade Forte», strongly inhibited vegetative weeds in crops. On more sparse crops, the number of weeds turned out to be higher than on variants with higher density.

The main pests of chickpea plants in the Republic of Kalmykia should be recognized as meadow moth, bean fireweed, cotton shovel and some others, the development of which can dramatically reduce the productivity of this crop. To combat them, it is necessary to use insecticides, and repeatedly, when critical EPO values are reached for them. In our case, we used the classic organophosphorus insecticide "Landing" (1.0 l/ha), which on average in 2017...2019 provided an increase in grain harvest by 0.21 t/ha or 18 %, compared with untreated crops.

Библиографический список

1. Бородычёв В. В., Пимонов К. И., Михайличенко Е. Н. Агрохимическая оценка применения минеральных удобрений и биопрепаратов при возделывании нута в Ростовской области. Плодородие. 2018. № 1 (100). С. 34-37.
2. Бакинова Т. И., Оконов М. М. Пастбищные ресурсы аридных территорий: состояние и оценка использования. Элиста, 2013. 112 с.
3. Бакинова Т. И., Борликов Г. М., Лачко О. А. Почвенно-земельное ресурсы аридных территорий. Состояние использования, оценка. Элиста. 2009. 176 с.
4. Карамалишоев А. Нитрагин повышает урожай нута. Агропромышленный комплекс Таджикистана. 1989. № 6. С. 41-42.
5. Лукин С. М. Значение биологической азотфиксации бобовых в балансе азота в земледелии Нечерноземной зоны России. Агрохимия. 1995. № 8. С. 11-12.

6. Олейник П. П. Нут: производство и спрос. Зерновые культуры. 1991. № 2. С. 15-18.
7. Олейник П. П., Эргашев Н. В. Нут и его беды. Сельское хозяйство Узбекистана. 1990. № 8. С. 38-40.
8. Оконов М. М., Овадыкова Ж. В. Адаптивное земледелие. Элиста, 2013. 90 с.
9. Оконов М. М. и др. Влияние обработки семян сорго препаратом Прорастин на продуктивность растений в условиях опытного поля КГУ. Актуальные проблемы сельскохозяйственного производства: материалы научной конференции. Элиста: Калмыцкий НИИСХ, 2010. С.137-139.
10. Оконов М. М. Оптимизация формирования урожая в растениеводстве. Элиста, 2010. 26 с.
11. Оконов М. М. Проблемы и перспективы развития полевого кормопроизводства в Калмыкии: материалы научно-практической конференции. Элиста, 2010. С. 97-99.
12. Оконов М. М. Технология возделывания сельскохозяйственных культур в орошаемом земледелии с программированием урожая. Элиста, 1994. 86 с.
13. Оконов М. М. и др. Эффективность возделывания аридных кормовых растений и оценка их продуктивных качеств в условиях сухостепной зоны РК. Бизнес, образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2011. № 4 (21). С. 84-87.
14. Оконов М. М., Оросов С. А. Особенности возделывания нута по адаптивным технологиям на светло-каштановой почвах и южных черноземах Калмыкии. Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса Прикаспийского региона. 2013. С. 142-144.
15. Оконов М. М., Оросов С. А. Технологическая и эколого-хозяйственная оценка сортов нута на зональных почвах Калмыкии. Актуальные вопросы развития науки: сборник статей международной научно-практической конференции. 2014. С. 182-184.
16. Балашов В. В. и др. Особенности роста и развития сортов нута Волгоградской селекции. Известия НВ АУК. 2021. № 1 (61). С. 36-45.

References

1. Borodychev V. V., Simonov K. I., Mikhailichenko E. N. Agrochemical assessment of the use of mineral fertilizers and biopreparations in the cultivation of chickpeas in the Rostov region. Fertility. 2018. No 1 (100). Pp. 34-37.
2. Bakinova T. I., Okonov M. M. Pasture resources of arid territories: state and assessment of use. Elista, 2013. 112 p.
3. Bakinova T. I., Borlikov G. M., Lachko O. A. Soil and Land Resources of Arid Territories. State of Use, Assessment. Elista. 2009. 176 p.
4. Karamalishoyev A. Nitragin Increases Chickpea Yield. Agro-Industrial Complex of Tajikistan. 1989. No 6. Pp. 41-42.
5. Lukin S. M. The Importance of Biological Nitrogen Fixation of Legumes in the Nitrogen Balance in Agriculture of the Non-black colored soils Zone of Russia. Agricultural Chemistry. 1995. No 8. Pp. 11-12.
6. Oleynik P. P. Chickpeas: Production and Demand. Grain Crops. 1991. No 2. Pp. 15-18.
7. Oleinik P. P., Ergashev N. V. Nut and its troubles. Agriculture of Uzbekistan. 1990. No 8. Pp. 38-40.
8. Okonov M. M., Ovadykova Zh. V. Adaptive farming. Elista, 2013. 90 p.
9. Okonov M. M. et al. The effect of sorghum seed treatment with Prorastin on plant productivity in the conditions of the KSU experimental field. Actual problems of agricultural production: materials of the scientific conference. Elista: Kalmyk Research Institute of Agriculture, 2010. Pp. 137-139.
10. Okonov M. M. Optimization of crop formation in plant growing. Elista, 2010. 26 p.
11. Okonov M. M. Problems and Prospects of Field Fodder Production Development in Kalmykia: materials of the Scientific and Practical Conference. Elista, 2010. Pp. 97-99.
12. Okonov M. M. Technology of Cultivation of Crops in Irrigated Agriculture with Yield Programming. Elista, 1994. 86 p.
13. Okonov M. M. et al. The effectiveness of cultivating arid forage plants and assessing their productive qualities in the dry steppe zone of the Republic of Kazakhstan. Business, Education. Law. Bulletin of the Volgograd Institute of Business. 2011. No 4 (21). Pp. 84-87.
14. Okonov M. M., Orosov S. A. Features of cultivating chickpeas using adaptive technologies on light chestnut soils and southern black-colored soils in Kalmykia. Actual Problems of the Development of the Agro-Industrial Complex in the Caspian Region. 2013. Pp. 142-144.
15. Okonov M. M., Orosov S. A. Technological and Ecological-Economic Assessment of Chickpea Varieties on Zonal Soils of Kalmykia. Actual Issues of Science Development: Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference. 2014. Pp. 182-184.
16. Balashov V. V. et al. Features of growth and development of chickpea varieties of the Volgograd selection. Proceedings of the NV AUC. 2021. No 1 (61). Pp. 36-45.

Информация об авторах

Оросов Санан Альбертович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. А. С. Пушкина, 11, корп. 1А), e-mail: sanan.orosov@mail.ru
Петров Николай Юрьевич, профессор кафедры, доктор сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), e-mail: npetrov60@list.ru
Батыров Владимир Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова» (Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. А. С. Пушкина, 11, корп. 1А), e-mail: vladimir-ba@mail.ru
Кузнецова Надежда Владимировна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID: https//orcid.org/0000-0002-0667-5100, email: nvkyznetsova@mail.ru
Хавронина Вера Николаеввна, доцент, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26).

Authors' Information

Orosov Sanan Albertovich, Senior Lecturer, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, A. S. Pushkin Str., 11, building 1A), e-mail: sanan.orosov@mail.ru

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

Batyrov Vladimir Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Acting Head of the Department, Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov (Russian Federation, 358000, Republic of Kalmykia, Elista, A. S. Pushkin Str., 11, building 1A), e-mail: vladimir-ba@mail.ru

Kuznetsova Nadezhda Vladimirovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: https//orcid.org/0000-0002-0667-5100, e-mail: nvkyznetsova@mail.ru

Khavronina Vera Nikolaevna, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26).

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-32

THE DAIRY PRODUCTIVITY AND MILK QUALITY OF THE DIFFERENT BREEDS COWS COMPARATIVE CHARACTERISTICS IN THE VOLGOGRAD REGION CONDITIONS

[1,2]Gorlov I. F., [1]Slozhenkina M. I., [1]Mosolov A. A., [1]Vorontsova E. S., [1,2]Mosolova E. A., [3]Shakhbazova O. P., [3]Radzhabov R. G.

[1]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation
[2]Volgograd State Technical University
[3]Don State Agrarian University
Persianovsky, Rostov Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 09.04.2026 Submitted 05.05.2026

The article was published as part of a grant № 22-16-00041-P, GNU NIIMMP.

Summary

The paper presents the results of a comparative assessment of milk productivity, milk quality and phenotypic variability in cows of different breeds in agricultural enterprises of the Volgograd region.

Abstract

Introduction. In modern dairy farming, it is important to improve milk productivity and quality while ensuring cow resilience to external factors. A comprehensive assessment of milk yield, fat and protein content, and somatic cell count, which depends on both genetics and farming conditions, plays a key role. However, these traits remain variable between breeds and dependent on farming conditions, complicating selection. Therefore, studying the milk productivity and health of cows of various breeds under specific conditions is essential for improving the efficiency of breeding efforts and developing the industry. **Object.** Holstein, Ayrshire, Simmental, and Black-and-White cows, represented by animals of dairy lines. **Materials and methods.** Data on milk productivity and milk quality of cows of the presented breeds in agricultural enterprises of the Volgograd Region were used for the analysis. Milk yield, fat and protein content, and somatic cell count were assessed. Methods of comparative analysis and statistical processing were used to identify the variability of traits and the influence of maintenance conditions on their manifestation. **Results and conclusions.** The study found that the Holstein breed produces the highest milk yield and milk fat and protein output, while the Black Pied breed has a higher fat content. Somatic cell count and the fat-to-protein ratio depend on both breed and management conditions, with technological factors having a greater impact on milk yield and breed factors on milk quality. The contribution of management conditions to milk yield reaches 49 %, while breed factors account for 38 %; for quality indicators, breed influence is greater. The results allow us to recommend the Holstein breed for maximizing milk yield with high feeding levels and highlight the need for milk quality control to improve industry efficiency.

Keywords: *dairy productivity of cows, cow breeds, quality of cow milk, conditions for keeping dairy cattle, development of dairy farming.*

Citation. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Mosolova E. A., Shakhbazova O. P., Radzhabov R. G. The dairy productivity and milk quality of the different breeds cows comparative characteristics in the Volgograd region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 287-298 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-32.

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 636.2.034

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА МОЛОКА КОРОВ РАЗНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

[1,2]Горлов И. Ф., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
[1]Сложенкина М. И., *доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН*
[1]Мосолов А. А., *доктор биологических наук, главный научный сотрудник*
[1]Воронцова Е. С., *кандидат биологических наук*
[1,2]Мосолова Е. А., *лаборант-исследователь, студент*
[3]Шахбазова О. П., *доктор биологических наук, доцент*
[3]Раджабов Р. Г., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*

[1]ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
[3]ФГОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
пос. Персиановский, Ростовская область, Российская Федерация

Статья опубликована в рамках гранта № 22-16-00041-П, ГНУ НИИММП.

Актуальность. В современном молочном скотоводстве важно повышать продуктивность и качество молока, обеспечивая устойчивость коров к внешним факторам. Ключевую роль играет комплексная оценка удоя, содержания жира, белка и уровня соматических клеток, которая зависит как

от генетики, так и от условий хозяйствования. Однако сохраняется вариабельность этих признаков между породами и зависимость показателей от условий содержания, что осложняет селекцию. Поэтому изучение молочной продуктивности и здоровья коров различных пород в конкретных условиях актуально для повышения эффективности племенной работы и развития отрасли. **Объект.** Коровы голштинской, айрширской, симментальской и черно-пёстрой пород, представленными животными молочных линий. **Материалы и методы.** Для анализа использовались данные о молочной продуктивности и качестве молока коров изучаемых пород, содержащихся в условиях племенных хозяйств Волгоградской области. Оценивались удой, содержание жира и белка, а также уровень соматических клеток. Применялись методы сравнительного анализа и статистической обработки для выявления вариабельности признаков и влияния условий содержания на их проявление. **Результаты и выводы.** В ходе исследования установлено, что в условиях сельскохозяйственных предприятий Волгоградской области коровы голштинской породы обеспечивают наибольшую продуктивность, а также выход молочного жира и белка, в то время как у чёрно-пёстрой – выше содержание жира. Уровень соматических клеток и соотношение жир:белок зависят как от породы, так и от условий содержания, причём технологические факторы сильнее влияют на удой, а породные – на качество молока. Вклад хозяйственных условий в удой достигает 49 %, породного фактора – 38 %; для качественных показателей влияние породы выше. Результаты позволяют рекомендовать голштинскую породу для максимизации удоя при высоком уровне кормления и указывают на необходимость контроля качества молока для повышения эффективности отрасли.

Ключевые слова: *молочная продуктивность коров, породы коров, качество молока коров, условия содержания молочного скота, развитие молочного скотоводства.*

Цитирование. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Мосолов А. А., Воронцова Е. С., Мосолова Е. А., Шахбазова О. П., Раджабов Р. Г. Сравнительная характеристика молочной продуктивности и качества молока коров разных пород в условиях Волгоградской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 287-298. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-32.

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. Современное молочное скотоводство характеризуется ориентацией на повышение продуктивности и качества молока при одновременном обеспечении устойчивости животных к неблагоприятным факторам содержания. В этой связи особое значение приобретает комплексная оценка хозяйственно-полезных признаков, включая удой, содержание жира и белка, а также уровень соматических клеток как индикатора состояния молочной железы. По данным исследований, содержание соматических клеток подвержено сезонной динамике и зависит от комплекса факторов, включая условия содержания и физиологическое состояние животных [1].

Достигнутый уровень молочной продуктивности в значительной степени обусловлен внедрением интенсивных технологий содержания и совершенствованием методов оценки животных. Так, при круглогодичном стойловом содержании голштинских коров обеспечивается высокий уровень реализации генетического потенциала по удою и компонентам молока [2]. При этом признаки молочной продуктивности характеризуются достаточно высокой наследуемостью, что делает их эффективными объектами селекции [3].

Вместе с тем сохраняется ряд проблем, связанных с вариабельностью показателей продуктивности и качественных характеристик молока. Известно, что уровень соматических клеток, как и показатели жира и белка, определяется не только условиями содержания, но и генотипическими особенностями животных [4]. При этом вариабельность данных признаков может существенно различаться между породами и внутри них, что подтверждается классическими исследованиями по изменчивости показателей молока [6].

Дополнительную сложность представляет влияние паратипических факторов, включая условия хозяйствования, уровень кормления и технологию содержания, которые могут снижать проявление генетически обусловленных признаков [7]. В то же время, сравнительная оценка пород в различных хозяйствах позволяет выявить особенности реализации продуктивного потенциала животных и определить наиболее эффективные сочетания генотипа и условий среды.

В современных условиях особое внимание уделяется рациональному использованию генетических ресурсов и повышению эффективности селекционно-племенной работы. Высокопродуктивные животные рассматриваются как ключевой ресурс, обеспечивающий дальнейшее развитие отрасли, однако их использование требует учёта комплекса хозяйственно-полезных признаков и их взаимосвязей [5]. Таким образом, изучение молочной продуктивности, качества молока и уровня соматических клеток у коров различных пород в

условиях конкретных хозяйств представляет практический интерес и позволяет уточнить особенности проявления данных признаков при конкретных технологиях содержания, принятых в хозяйствах.

Цель исследования – провести сравнительную характеристику молочной продуктивности и качества молока коров голштинской, айрширской, симментальской и черно-пёстрой пород в условиях сельскохозяйственных (племенных) предприятий Волгоградской области.

Материалы и методы. Исследование выполнено в агроэкологических условиях Волгоградской области на базе племенных хозяйств. В качестве объекта исследования были выбраны коровы голштинской, айрширской, симментальской и чёрно-пёстрой пород, относящиеся к молочным линиям. Формирование групп осуществляли по принципу групп-аналогов с учётом породы и уровня продуктивности [8].

Учёт продуктивных показателей проводили по данным контрольных доек в январе-марте. Учитывали среднесуточный удой, массовую долю жира и белка, содержание соматических клеток в молоке, используя общепринятые в зоотехнии методы. На основе полученных данных рассчитывали выход жира и белка, соотношение жир:белок, коэффициент вариации, а также индексы сравнительной оценки пород.

Статистическую обработку выполняли с использованием стандартных процедур дисперсионного анализа пакета Microsoft Excel с контролем корректности вычислений. Для каждой выборки определяли среднюю арифметическую (M) и ошибку среднего (m), рассчитывали коэффициент вариации (Cv). Для оценки влияния факторов применяли дисперсионный анализ с вложенной структурой, в котором фактор «хозяйство» рассматривался как вложенный в фактор «порода» (по два хозяйства для голштинской и симментальской пород). Достоверность различий оценивали по F-критерию Фишера при уровнях значимости $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$. Величину эффекта оценивали с помощью коэффициента эта-квадрат (η^2), рассчитываемого как отношение суммы квадратов эффекта к общей сумме квадратов. Значения η^2 интерпретировали согласно рекомендациям: 0,01 – малый эффект, 0,06 – средний, 0,14 – большой эффект.

Результаты и обсуждение. Молочная продуктивность и качество молока коров различных пород формируются под влиянием генетических особенностей и условий содержания, что проявляется в различиях по удою, составу молока и уровню соматических клеток. В таблице 1 представлены сравнительные данные по указанным показателям в разрезе пород и хозяйств.

Таблица 1 – Молочная продуктивность и качество молока коров разных пород (M ± m)
Table 1 – Milk productivity and milk quality of cows of different breeds (M ± m)

Порода / Breed	Хозяйство / Farm	Кол-во / Quantity	Удой, кг / Milk yield, kg	Жир, % / Fat, %	Белок, % / Protein, %	Соматические клетки, тыс./мл / Somatic cells, thousand/ml
Голштинская / Holstein breed	СП «Донское» / Donskoe	525	37,6 ± 0,48	4,00 ± 0,01	3,34 ± 0,003	279,4 ± 2,49
Айрширская / Ayrshire breed	Агрофирма «Восток» / Vostok	262	29,2 ± 0,49	3,54 ± 0,02	3,20 ± 0,005	145,2 ± 2,48
Голштинская / Holstein breed	ОС «Орошаемая» / Oroshaemaya	151	17,3 ± 0,42	3,39 ± 0,03	3,06 ± 0,02	168,9 ± 5,56
Симментальская / Simmental breed	Агрофирма «Раздолье» / Razdolie	179	14,3 ± 0,30	3,74 ± 0,02	3,30 ± 0,006	198,5 ± 4,14
Черно-пестрая / Black and white breed	АО им. Кирова / named after Kirov	470	21,0 ± 0,27	4,56 ± 0,02	3,26 ± 0,005	296,9 ± 4,18
Симментальская / Simmental breed	ПЗК «Путь Ленина» / Put Lenina	253	18,1 ± 0,09	4,04 ± 0,01	3,10 ± 0,006	346,1 ± 5,24

Анализ данных таблицы 1 показывает, что наибольший уровень удоя установлен у коров голштинской породы в СП «Донское» – 37,6 кг. По сравнению с голштинами ОС «Орошаемая» разница составила 20,3 кг, что превышает на 117,3 %, тогда как превосходство над айрширской породой достигало 8,4 кг или 28,8 %, а над черно-пёстрой – 16,6 кг или 79,0 %. Симментальские животные характеризовались более низкими значениями: в Агрофирме «Раздолье» отставание составило 23,3 кг или 162,9 %, в ПЗК «Путь Ленина» – 19,5 кг или 107,7 %. Следовательно, по уровню удоя чётко прослеживается преимущество голштинской породы в условиях СП «Донское».

По содержанию жира наблюдается иная направленность. Максимальное значение отмечено у черно-пёстрой породы – 4,56 %, что выше уровня голштинов СП «Донское» на 0,56 %. Симментальские коровы ПЗК «Путь Ленина» также характеризовались повышенным содержанием жира – 4,04 %, превышая голштинов ОС «Орошаемая» на 0,65 п.п. В то же время минимальное значение показателя установлено у айрширской породы – 3,54 %.

Различия по содержанию белка выражены в меньшей степени. Наибольшее значение зафиксировано у голштинской породы в СП «Донское» – 3,34 %, что выше показателя голштинов ОС «Орошаемая» на 0,28 %. Айрширская и черно-пёстрая породы уступали на 0,14 и 0,08 %. соответственно. Симментальские животные занимали промежуточное положение, при этом минимальное значение отмечено в ПЗК «Путь Ленина» – 3,10 %.

Уровень соматических клеток варьировал в широких пределах. Минимальное значение установлено у айрширской породы – 145,2 тыс./мл, что ниже уровня голштинов СП «Донское» на 134,2 тыс./мл или 48,0 %. В противоположность этому максимальный показатель отмечен у симментальских коров ПЗК «Путь Ленина» – 346,1 тыс./мл, что выше уровня айрширской породы на 200,9 тыс./мл или 138,4 %. Коровы черно-пёстрой породы также характеризуются повышенным уровнем соматических клеток – 296,9 тыс./мл, превышая показатели голштинов ОС «Орошаемая» на 128,0 тыс./мл или 75,8 %.

Таким образом, полученные данные показывают, что голштинская порода в условиях СП «Донское» характеризуется наибольшим уровнем удоя, тогда как по содержанию жира преимущество принадлежит черно-пёстрой и отдельным группам симментальской породы. Айрширские коровы отличаются минимальным уровнем соматических клеток, в то время как у симментальских животных ПЗК «Путь Ленина» фиксируются максимальные значения данного показателя.

Фенотипическая изменчивость хозяйственно-полезных признаков отражает степень однородности поголовья и позволяет оценить вариабельность продуктивных и качественных характеристик в разрезе пород и хозяйств. В таблице 2 представлены значения коэффициента вариации, характеризующие устойчивость проявления признаков у исследуемых животных.

Таблица 2 – Фенотипическая изменчивость (Cv) хозяйственно-полезных признаков, %
Table 2 – Phenotypic variability (Cv) of economically useful traits, %

Порода / Breed	Хозяйство / Farm	Удой / Milk yield	Жир / Fat	Белок / Protein	Соматические клетки / Somatic cells
Голштинская / Holstein breed	СП «Донское» / Donskoe	28,7	3,5	2,3	22,2
Айрширская / Ayrshire breed	Агрофирма «Восток» / Vostok	25,1	7,6	2,3	52,6
Голштинская / Holstein breed	ОС «Орошаемая» / Oroshaemaya	35,4	9,1	4,8	26,2
Симментальская / Simmental breed	Агрофирма «Раздолье» / Razdolie	31,1	4,0	2,3	21,1
Черно-пестрая / Black and white breed	АО им. Кирова / named after Kirov	27,0	11,6	3,9	35,2
Симментальская / Simmental breed	ПЗК «Путь Ленина» / Put Lenina	8,0	3,2	2,9	20,5

Анализ данных таблицы 2 показывает, что наибольший уровень вариации по удою отмечен у голштинской породы в ОС «Орошаемая» – 35,4 %, что выше уровня голштинов СП «Донское» на 6,7 п.п. и айрширской породы на 10,3 п.п. В то же время минимальная изменчивость установлена у симментальских животных ПЗК «Путь Ленина» – 8,0 %, что ниже уровня голштинов СП «Донское» на 20,7 п.п. Это указывает на более высокую однородность данной группы по уровню продуктивности.

Изменчивость массовой доли жира характеризуется более выраженными различиями. Максимальный коэффициент вариации отмечен у черно-пёстрой породы – 11,6 %, что выше уровня голштинов СП «Донское» на 8,1 п.п. и айрширской породы на 4,0 п.п. Минимальное значение зафиксировано у симментальских животных ПЗК «Путь Ленина» – 3,2 %, что ниже уровня черно-пёстрой породы на 8,4 п.п.

По содержанию белка вариабельность в большинстве групп находится на близком уровне. У голштинской породы СП «Донское», айрширской и симментальской породы Агрофирмы «Раздолье» коэффициент вариации составляет 2,3 %, тогда как у голштинов ОС «Орошаемая» он выше на 2,5 п.п. Черно-пёстрая порода превышает данный уровень на 1,6 п.п., а симментальская порода ПЗК «Путь Ленина» – на 0,6 п.п.

Наиболее выраженная вариабельность установлена по содержанию соматических клеток. У айрширской породы коэффициент вариации достигает 52,6 %, что выше уровня голштинов СП «Донское» на 30,4 п.п. и симментальской породы ПЗК «Путь Ленина» на 32,1 п.п. Черно-пёстрая порода также характеризуется повышенной изменчивостью – 35,2 %, превышая уровень голштинов СП «Донское» на 13,0 п.п. Минимальная вариабельность отмечена у симментальских животных, содержащихся в ПЗК «Путь Ленина» – 20,5 %.

Таким образом, наибольшая неоднородность по удою и отдельным показателям состава молока характерна для голштинской породы в условиях ОС «Орошаемая» и черно-пёстрой породы, тогда как симментальские животные ПЗК «Путь Ленина» отличаются наименьшей вариабельностью по большинству изученных признаков.

Суточный выход молочных компонентов и соотношение жир:белок позволяют комплексно оценить не только уровень продуктивности, но и физиологическое состояние коров в различных хозяйствах. Данные таблицы 3 отражают различия по количеству синтезируемых компонентов молока и сбалансированности обменных процессов.

Таблица 3 – Суточный выход молочных компонентов и соотношение жир:белок у коров разных пород (M ± m)

Table 3 – Daily yield of milk components and the fat:protein ratio in cows of different breeds (M ± m)

Хозяйство / Farm	Выход жира, кг / Fat yield, kg	Выход белка, кг / Protein yield, kg	Соотношение жир: белок / Fat: Protein ratio	Ранг по суммарной ценности[4] / Rank by total value[4]
СП «Донское» / Donskoe	1,50 ± 0,02	1,26 ± 0,02	1,20 ± 0,01	I
Агрофирма «Восток» / Vostok	1,03 ± 0,02	0,93 ± 0,02	1,11 ± 0,01[1]	II
ОС «Орошаемая» / Oroshaemaya	0,58 ± 0,01	0,53 ± 0,01	1,11 ± 0,02[2]	V
Агрофирма «Раздолье» / Razdolie	0,53 ± 0,01	0,47 ± 0,01	1,13 ± 0,01[2]	VI
АО им. Кирова / named after Kirov	0,96 ± 0,01	0,68 ± 0,01	1,40 ± 0,02[3]	III
ПЗК «Путь Ленина» / Put Lenina	0,74 ± 0,01	0,56 ± 0,01	1,30 ± 0,01	IV

Примечания к таблице:
1,2,3 – отклонение от физиологической нормы (1,2-1,3): 1,2 - ниже нормы (< 1,1), возможен риск ацидоза; 3 – выше нормы (> 1,4), возможен риск кетоза. 4 – ранг определен на основе суммарной оценки выхода жира и белка (жир+белок, кг/сут), где более высокий ранг соответствует большему производству молочных компонентов.
Notes to the table:
1,2,3 – deviation from the physiological norm (1,2-1,3): 1,2 – below the norm (<1,1), there is a risk of acidosis; 3 – above the norm (>1,4), there is a risk of ketosis. 4 – the rank is determined based on the total assessment of fat and protein output (fat + protein, kg/day), where a higher rank corresponds to greater production of dairy components.

Анализ выхода молочных компонентов показывает, что наибольший выход жира и белка зафиксирован у коров СП «Донское». Преимущество по выходу жира относительно ближайшего значения, полученного в АО им. Кирова, составило 0,54 кг или 56,3 %, тогда как по сравнению с Агрофирмой «Восток» разница достигала 0,47 кг или 45,6 %. Аналогичная закономерность прослеживается по выходу белка: показатель в СП «Донское» превы-

шал уровень АО им. Кирова на 0,58 кг, что соответствует 85,3 %, и был выше, чем в Агрофирме «Восток», на 0,33 кг или 35,5 %. По сравнению с наименьшими значениями, зафиксированными в Агрофирме «Раздолье», разница составляла 0,97 кг по жиру (183,0 %) и 0,79 кг по белку (168,1 %).

Одновременно минимальными показателями выхода компонентов характеризовались хозяйства ОС «Орошаемая» и Агрофирма «Раздолье». В частности, выход жира в ОС «Орошаемая» был ниже уровня СП «Донское» на 0,92 кг или 158,6 %, а белка – на 0,73 кг или 137,7 %. Сходная картина наблюдается и для Агрофирмы «Раздолье», где отставание по жиру составляло 0,97 кг или 183,0 %, а по белку – 0,79 кг или 168,1 %.

Анализ соотношения жир:белок выявил различия в сбалансированности обменных процессов в разных хозяйствах. В СП «Донское» показатель составил 1,20, что оптимально соответствует физиологической норме (1,2-1,3).

В Агрофирме «Восток» и ОС «Орошаемая» значение находилось на уровне 1,11, что на 0,09 ниже показателя СП «Донское» (7,5 %) и ниже физиологической нормы. Данный показатель располагается в пограничной зоне (1,10-1,19), приближаясь к порогу риска ацидоза (< 1,10), что требует контроля углеводно-жирового баланса в рационе. Аналогичная тенденция наблюдалась в Агрофирме «Раздолье», где соотношение составило 1,13 (на 0,07, или 5,8 % ниже, чем в СП «Донское»), что также характеризует группу как находящуюся ниже оптимального диапазона.

Противоположная картина отмечена в АО им. Кирова: здесь соотношение достигло 1,40, превышая уровень СП «Донское» на 0,20 (16,7 %) и выходя за верхний предел физиологической нормы. Данное значение находится в зоне риска кетоза (≥ 1,40), что может свидетельствовать о напряжении энергетического обмена и требует коррекции рациона. У коров ПЗК «Путь Ленина» показатель составил 1,30, что выше уровня СП «Донское» на 0,10 (8,3 %) и соответствует верхней границе нормы.

Примечательно, что распределение хозяйств по рангу суммарной ценности полностью соответствует уровню выхода молочных компонентов. СП «Донское» занимает первое место, превосходя остальные хозяйства по суммарному выходу жира и белка. Агрофирма «Восток» и АО им. Кирова занимают последующие позиции, тогда как ОС «Орошаемая» и Агрофирма «Раздолье» характеризуются наименьшими значениями и занимают последние ранги.

Таким образом, наибольший суточный выход молочных компонентов установлен у коров СП «Донское». При этом соотношение жир:белок в большинстве хозяйств находится в пределах физиологической нормы (1,2-1,3), однако, выявлена разнонаправленная тенденция его нарушения. В хозяйствах с низким уровнем удоя (ОС «Орошаемая», Агрофирма «Раздолье») показатель снижен до 1,11-1,13, что указывает на риск развития ацидоза и дефицит структурной клетчатки в рационах. Напротив, в АО им. Кирова соотношение достигло 1,40, превысив верхнюю границу нормы и сигнализируя о потенциальной опасности возникновения кетоза вследствие отрицательного энергетического баланса. Полученные данные подчеркивают необходимость дифференцированной коррекции рационов в зависимости от уровня продуктивности стада.

Таблица 4 – Распределение коров по уровню соматических клеток в молоке, %
Table 4 – Distribution of cows by the level of somatic cells in milk, %

Хозяйство / Farm	Доля коров с сом. кл. < 400 тыс./мл (высший сорт), % / Share of cows with somatic cell count <400,000/ml (premium grade), %	Доля коров с сом. кл. 400-750 тыс./мл (I сорт), % / Share of cows with somatic cell count of 400-750 thousand/ml (Grade I), %	Доля коров с сом. кл. > 750 тыс./мл (несортовое), % / Share of cows with somatic cell count > 750,000/ml (non-grade), %
СП «Донское» / Donskoe	97,14	2,86	0
Агрофирма «Восток» / Vostok	99,24	0	0,76
ОС «Орошаемая» / Oroshaemaya	100	0	0
Агрофирма «Раздолье» / Razdolie	100	0	0
АО им. Кирова / named after Kirov	86,81	12,34	0,85
ПЗК «Путь Ленина» / Put Lenina	72,33	27,67	0

Уровень соматических клеток в молоке является индикатором состояния молочной железы и санитарного качества продукции, что позволяет оценить распределение поголовья по категориям качества молока. Данные таблицы 4 отражают долю коров с различным уровнем соматических клеток в разрезе хозяйств.

Анализ распределения коров по уровню соматических клеток показывает, что в ряде хозяйств преобладает поголовье с наилучшими показателями. Так, в ОС «Орошаемая» и Агрофирме «Раздолье» доля коров с содержанием соматических клеток менее 400 тыс./мл составляла 100 %, что на 2,86 % выше уровня СП «Донское» и на 27,67 % превышает показатель ПЗК «Путь Ленина». В Агрофирме «Восток» данный показатель также был максимально высоким – 99,24 %, уступая абсолютному уровню на 0,76 %.

В СП «Донское» доля коров высшего сорта составляла 97,14 %, что ниже уровня ОС «Орошаемая» на 2,86 %, однако превышает показатель АО им. Кирова на 10,33 % и ПЗК «Путь Ленина» на 24,81 %. При этом доля животных с уровнем соматических клеток 400-750 тыс./мл в данном хозяйстве составляла 2,86 %, тогда как животные с содержанием соматических клеток свыше 750 тыс./мл отсутствовали.

Более выраженное распределение по менее благоприятным категориям отмечено в АО им. Кирова и ПЗК «Путь Ленина». В частности, в АО им. Кирова доля коров высшего сорта была ниже уровня СП «Донское» на 10,33 %, составляя 86,81 %, тогда как доля животных I сорта достигала 12,34 %, что на 9,48 % выше по сравнению с СП «Донское». Одновременно фиксировалось наличие коров с уровнем соматических клеток выше 750 тыс./мл – 0,85 %, что превышает показатель большинства хозяйств, где данная категория отсутствовала.

Наиболее низкая доля коров высшего сорта установлена в ПЗК «Путь Ленина» – 72,33 %, что уступает уровню СП «Донское» на 24,81 % и ОС «Орошаемая» на 27,67 %. При этом доля животных с содержанием соматических клеток 400-750 тыс./мл достигала 27,67 %, что на 24,81 % выше показателя СП «Донское». Животные с уровнем соматических клеток выше 750 тыс./мл в данном хозяйстве отсутствовали.

Таким образом, наибольшая доля коров с молоком высшего сорта отмечена в ОС «Орошаемая» и Агрофирме «Раздолье», тогда как в АО им. Кирова и ПЗК «Путь Ленина» наблюдается увеличение доли животных с повышенным уровнем соматических клеток. Полученные данные отражают различия в распределении поголовья по качественным категориям молока в зависимости от условий хозяйств.

Индексы сравнительной оценки позволяют интегрально сопоставить породы по основным хозяйственно-полезным признакам, отражая относительное преимущество или отставание по каждому показателю. Данные таблицы 5 характеризуют выраженность продуктивных и качественных признаков у коров различных пород в условиях конкретных хозяйств.

Таблица 5 – Индексы сравнительной оценки пород по основным хозяйственно-полезным признакам
Table 5 – Indices of comparative assessment of breeds according to the main economically useful characteristics

Порода / Breed	Удой / Milk yield	Жир / Fat	Белок/ Protein	Соматические клетки / Somatic cells
Голштинская (СП «Донское») / Holstein (Donskoye)	1,64	1,03	1,04	1,17
Голштинская (ОС «Орошаемая») / Holstein (Oroshaemaya)	0,76	0,87	0,95	0,71
Симментальская (Агрофирма «Раздолье») / Simmental (Razdolie Agrofirm)	0,62	0,96	1,03	0,83
Симментальская (ПЗК «Путь Ленина») / Simmental (Put Lenina)	0,79	1,04	0,97	1,45
Айрширская (Агрофирма «Восток») / Ayrshire (Vostok Agrofirm)	1,27	0,91	1,00	0,61
Черно-пестрая (АО им. Кирова) / Black and White (named after Kirov)	0,92	1,18	1,02	1,24

В первую очередь выделяется голштинская порода в СП «Донское», которая демонстрирует наибольшее значение индекса по удою – 1,64. Разница в значении индекса по сравнению с голштинской породой ОС «Орошаемая» составляет 0,88, или 115,8 %, а по сравнению с симментальской породой Агрофирмы «Раздолье» – 1,02, или 164,5 %. Одновременно по содержанию жира и белка показатели также превышают единицу (1,03 и 1,04

соответственно), что указывает на сбалансированное проявление продуктивных признаков. Индекс по соматическим клеткам составляет 1,17, что выше уровня айрширской породы на 0,56 или 91,8 %.

В то же время голштинская порода в ОС «Орошаемая» характеризуется более низкими значениями по всем показателям. Индекс удоя составляет 0,76, что ниже уровня СП «Донское» на 0,88 или 115,8 %, а по содержанию жира и белка значения также не достигают единицы (0,87 и 0,95 соответственно). Индекс по соматическим клеткам равен 0,71, что ниже уровня большинства групп.

Симментальская порода демонстрирует различия в зависимости от хозяйства. В Агрофирме «Раздолье» индекс удоя составляет 0,62, что ниже уровня СП «Донское» на 1,02 или 164,5 %, при этом по белку показатель превышает единицу (1,03). В ПЗК «Путь Ленина» индекс удоя выше – 0,79, что на 0,17 или 27,4 % больше по сравнению с «Раздольем». Примечательно, что в данном хозяйстве индекс по соматическим клеткам достигает 1,45, превышая уровень СП «Донское» на 0,28 или 23,9 % и являясь максимальным среди всех групп.

Айрширская порода в Агрофирме «Восток» характеризуется высоким индексом удоя – 1,27, уступая голштинам СП «Донское» на 0,37 или 29,1 %, при этом индекс по соматическим клеткам минимален – 0,61, что ниже уровня большинства групп. Показатели по жиру и белку находятся на уровне 0,91 и 1,0 соответственно, что отражает умеренное проявление признаков.

Черно-пёстрая порода в АО им. Кирова отличается повышенными индексами по содержанию жира и белка (1,18 и 1,02 соответственно), превышая уровень голштинов СП «Донское» по жиру на 0,15 или 14,6 %. При этом индекс удоя составляет 0,92, что ниже уровня айрширской породы на 0,35 или 38,0 %. Индекс по соматическим клеткам равен 1,24, что выше уровня СП «Донское» на 0,07 или 6,0 %.

Таким образом, голштинская порода в условиях СП «Донское» характеризуется наибольшими значениями индексов по основным продуктивным признакам, тогда как черно-пёстрая порода выделяется по содержанию жира, а айрширская – минимальным индексом по соматическим клеткам. Одновременно симментальская порода демонстрирует выраженную зависимость индексов от условий хозяйства.

Двухфакторный дисперсионный анализ позволяет количественно оценить вклад факторов «порода» и «хозяйство» в формирование продуктивных признаков у коров. Результаты, представленные в таблице 6, отражают степень влияния указанных факторов на основные показатели молочной продуктивности.

Таблица 6 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа (голштинская и симментальская породы)
Table 6 – Results of two-way analysis of variance (Holstein and Simmental breeds)

Показатель / Indicator	Влияние породы (p-value) / Breed effect (p-value)	Влияние хозяйства (p-value) / The impact of farming (p-value)	Вывод / Conclusion
Удой, кг / Milk yield, kg	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,38$	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,49$	Хозяйство объясняет 49 % вариации удоя, порода – 38 %. Преобладает влияние хозяйственного фактора / The farm explains 49 % of the variation in milk yield, and the breed explains 38 %. The influence of the farm factor prevails
Жир, % / Fat, %	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,09$	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,06$	Порода объясняет 9 % вариации жира, хозяйство – 6 %. Преобладает генетический фактор / The breed explains 9 % of the variation in fat, and the farm explains 6 %. The genetic factor prevails
Белок, % / Protein, %	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,18$	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,04$	Порода объясняет 18 % вариации белка, хозяйство – 4 %. Выраженное влияние генотипа / The breed explains 18 % of the protein variation, and the farm explains 4 %. The influence of the genotype is pronounced
Соматические клетки / Somatic cells	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,03$	$p < 0,001$; $\eta^2 = 0,12$	Хозяйство объясняет 12 % вариации соматики, порода – 3 %. Ключевую роль играют технологические факторы / The farm explains 12 % of the somatic variation, and the breed explains 3 %. Technological factors play a key role

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о выраженном влиянии как породной принадлежности, так и условий хозяйствования на изучаемые показатели. При этом количественная оценка силы влияния факторов (η^2) позволяет более точно охарактеризовать их вклад в формирование признаков.

По удою установлено доминирование хозяйственного фактора, доля влияния которого составляет 49 %, тогда как вклад породы достигает 38 %. Следовательно, несмотря на значительную генетическую обусловленность продуктивности, реализация потенциала животных в большей степени определяется условиями кормления, содержания и уровнем технологического менеджмента.

Анализ качественных показателей молока позволяет выявить иную закономерность. Так, по массовой доле жира наблюдается преобладание породного фактора, доля влияния которого составляет 9 % против 6 % у хозяйства. Следовательно, решающее влияние на жирность молока оказывают генетические особенности животных, что обусловлено спецификой липидного обмена. В то же время условия содержания играют второстепенную, но статистически значимую роль.

Аналогичная направленность сохраняется и по содержанию белка, где влияние породы достигает 18 %, существенно превышая вклад хозяйственного фактора (4 %). Следовательно, белковый состав молока характеризуется более выраженной наследственной обусловленностью и большей стабильностью по отношению к изменениям условий внешней среды.

В отношении соматических клеток выявлена противоположная тенденция: доля влияния хозяйства составляет 12 %, тогда как вклад породы ограничивается 3 %. Следовательно, уровень соматических клеток, отражающий санитарное состояние молока и степень маститной нагрузки, преимущественно формируется под воздействием технологических факторов, включая условия содержания, гигиену доения и ветеринарный контроль.

Таким образом, наблюдаем чёткое разграничение влияния факторов: продуктивные признаки в значительной степени зависят от условий хозяйства, тогда как качественные показатели молока имеют выраженную породную обусловленность, а показатели безопасности молока формируются преимущественно под влиянием технологических факторов среды.

В проведённом исследовании установлено, что более высокий уровень молочной продуктивности характерен для коров голштинской породы в условиях СП «Донское». Одновременно отмечено, что при повышенном уровне удоя содержание жира не достигает максимальных значений, тогда как у черно-пёстрой породы фиксируется более высокая массовая доля жира, превышающая показатель голштинов на 0,56 п.п. По уровню соматических клеток более благоприятная ситуация наблюдается в отдельных хозяйствах, где основная доля поголовья соответствует требованиям высшего сорта, тогда как в ряде случаев увеличивается доля животных с повышенными значениями данного показателя.

Результаты дисперсионного анализа при этом уточняют выявленные закономерности и свидетельствуют о статистически значимом влиянии, как породной принадлежности, так и условий хозяйствования на изучаемые показатели ($p < 0,001$). При этом по удою и уровню соматических клеток более выражено влияние хозяйственного фактора, тогда как по массовой доле жира и белка преобладает влияние породы, что отражает различную природу формирования количественных и качественных признаков молочной продуктивности.

Полученный уровень удоя голштинской породы в СП «Донское» (37,6 кг) превышает данные, приведённые в исследованиях [9] для хозяйств Воронежской области, где удой голштинских коров составлял 28,5-32,1 кг. В то же время выявленные различия между хозяйствами внутри одной породы соответствуют представлениям о значимой роли генетических факторов, включая происхождение животных и степень голштинизации, в формировании продуктивных признаков [10], что согласуется с установленным существенным влиянием как породного, так и хозяйственного факторов.

Содержание жира у черно-пёстрой породы (4,56 %) оказалось выше, чем в работе Костомахина Н. М. и др. [10], где аналогичный показатель не превышал 4,2 %, что подтверждает выраженную породную обусловленность данного признака, выявленную в дисперсионном анализе. Выявленная высокая изменчивость соматических клеток у айрширской породы (Cv = 52,6 %), что соответствует данным Болгова А. Е. [13], где также отмечается значительная вариабельность данного признака у айрширского скота, при этом установленное доминирующее влияние хозяйственного фактора указывает на ключевую роль условий содержания и технологии доения.

Отмеченные особенности по содержанию соматических клеток и их вариабельности согласуются с данными, указывающими на связь представленного показателя с функциональным состоянием молочной железы и уровнем продуктивности животных [11]. При этом влияние генотипических факторов на уровень соматических клеток также подтверждается рядом исследований, где подчёркивается наследственная обусловленность данного признака [12], однако полученные результаты показывают, что в конкретных условиях хозяйств решающую роль играют технологические факторы.

Наряду с этим, межпородные различия, в частности у айрширской породы, согласуются с данными о существенном влиянии генетических и возрастных факторов в формировании изменчивости соматических клеток [13], что в сочетании с выявленным влиянием условий хозяйствования отражает комплексный характер формирования данного показателя.

Выявленные соотношения между продуктивностью и уровнем соматических клеток в целом согласуются с современными представлениями о взаимосвязи данных показателей, где увеличение соматических клеток рассматривается как фактор, сопровождающий изменения продуктивности и влияющий на хозяйственное использование животных [14], при этом установленное преобладание влияния хозяйства подчёркивает значение управляемых факторов среды.

Наряду с этим, различия по содержанию жира и белка укладываются в рамки существующих подходов к оценке качества молока, согласно которым данные показатели формируются под влиянием как генетических, так и физиолого-метаболических факторов, что подтверждается современными методами анализа состава молока [15], а также результатами дисперсионного анализа, выявившими преобладание породного фактора.

Примечательно, что доля влияния факторов (η^2) позволяет не только подтвердить статистическую значимость различий, но и количественно оценить вклад генетических и технологических компонентов в формирование признаков. При этом наблюдается системная закономерность: с увеличением степени интеграции признака (от качественного к продуктивному) возрастает роль управляемых факторов среды, тогда как показатели, связанные с составом молока, сохраняют более выраженную генетическую обусловленность.

Таким образом, полученные результаты в целом не противоречат имеющимся данным и уточняют особенности проявления молочной продуктивности и качественных показателей молока у коров различных пород в условиях конкретных хозяйств, с учётом значимого вклада как генетических, так и технологических факторов.

Заключение. В ходе исследования установлено, что голштинская порода в условиях СП «Донское» отличается наибольшим удоем – 37,6 кг, а также максимальным суточным выходом молочного жира и белка. Чёрно-пёстрая порода характеризуется более высоким содержанием жира в молоке (4,56 %), а по уровню соматических клеток лучшие показатели отмечены в ОС «Орошаемая» и Агрофирме «Раздолье». В ПЗК «Путь Ленина» доля коров высшего сорта составила 72,33 %, что указывает на резервы улучшения качества молока. Анализ показал, что как породная принадлежность, так и условия хозяйствования оказывают статистически значимое влияние на все показатели: удой и уровень соматических клеток в большей степени зависят от хозяйственных факторов, а массовая доля жира и белка – от породных особенностей. Количественная оценка выявила, что вклад хозяйственных условий в формирование удоя достигает 49 %, а породного фактора – 38 %; для качественных показателей молока влияние породы существенно выше. Полученные данные позволяют рассматривать уровень реализации продуктивного потенциала животных как управляемую величину, зависящую не только от породы, но и от условий производственной среды.

Conclusion. The study found that the Holstein breed at the Donskoye farm exhibits the highest milk yield – 37.6 kg – and the highest daily milk fat and protein yield. The Black-and-White breed has a higher fat content in milk (4.56 %), while the best somatic cell counts were observed at the Oroshaemaya dairy farm and the Razdolye farm. At the Put' Lenina dairy farm, the proportion of premium cows was 72.33 %, indicating potential for improving milk quality. The analysis showed that both breed and management conditions have a statistically significant impact on all indicators: milk yield and somatic cell counts are largely dependent on management factors, while the mass fraction of fat and protein is influenced by breed characteristics. A quantitative assessment revealed that the contribution of farming conditions to milk yield reaches 49 %, while breed factors account for 38 %. For milk quality indicators, breed influence is significantly greater. The data obtained allow us to consider the level of realization of the reproductive potential of animals as a manageable large-scale, determined not only by breed but also by the conditions of the production environment.

Библиографический список

1. Ефимова Л. В., Зазнобина Т. В. Содержание соматических клеток в молоке коров голштинской породы в разные сезоны года. Аграрная наука. 2026. № 3. С. 58-64.

2. Морозова Н. И., Мусаев Ф. А., Иванова Л. В. и др. Молочная продуктивность голштинских коров при круглогодовом стойловом содержании. Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 5. С. 54-55.

3. Костомахин Н. М. Селекционные признаки скота голштинской породы, их наследуемость, генетические и фенотипические корреляции. Инновации в отрасли животноводства и ветеринарии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2021. Т. 2. С. 237-243.

4. Ефимова Л. В., Зазнобина Т. В., Фролова О. А. и др. Влияние коров-матерей на физико-химические свойства молока дочерей. Аграрный научный журнал. 2019. № 11. С. 60-64.

5. Часовщикова М. А., Костомахин Н. М. Хозяйственные особенности коров голштинской породы разного уровня молочной продуктивности. Главный зоотехник. 2025. № 2 (259). С. 39-49.

6. Schutz M. M., Hansen L. B., Steuernagel G. R., Kuck A. L. Variation of milk, fat, protein, and somatic cells for dairy cattle. Dairy Science Journal. 1990. V. 73. No 2. Pp. 484-493.

7. Berry D. P., Wall E., Pryce J. E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. Animal. 2014. V. 8. I. 1. Pp. 105-121.

8. Баймуканов А. Д. и др. Основы опытного дела в животноводстве. Москва: Российский государственный аграрный университет, 2024. 136 с.

9. Ларин О. В., Алифанов С. В., Зуев Н. П. и др. Сравнительная характеристика коров разных пород в племенных хозяйствах Воронежской области. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 2 (100). С. 282-287.

10. Костомахин Н. М., Воронкова О. А., Габедава М. А. Совершенствование скота черно-пестрой породы различного происхождения. Калуга, 2023. 122 с.

11. Сермягин А. А., Лашнева И. А., Косицин А. А., Игнатьева Л. П., Артемьева О. А., Sölkner J., Зиновьева Н. А. Морфологический состав соматических клеток в молоке коров как критерий оценки здоровья молочной железы в связи с продуктивностью и компонентами молока. Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 6. С. 1183-1198.

12. Зазнобина Т. В., Ефимова Л. В., Иванова О. В. Влияние генотипических факторов на содержание соматических клеток в молоке. Вестник аграрной науки. 2019. № 5 (80). С. 67-74.

13. Болгов А. Е., Комлык И. П., Гришина Н. В., Паталайнен Л. С. Возрастные и наследственные факторы изменчивости соматических клеток. Генетика и разведение животных. 2019. № 2. С. 36-41.

14. De Vries A., Marcondes M. I. Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. Animal. 2020. V. 14. I. 1. Pp. s155-s164.

15. Bittante G., Cecchinato A. Genetic analysis of milk spectra. Dairy Science Journal. 2013. V. 96. No 9. Pp. 5991-6006.

References

1. Efimova L. V., Zaznobina T. V. Somatic cell count in milk of Holstein cows in different seasons of the year. Agricultural Science. 2026. No 3. Pp. 58-64.

2. Morozova N. I., Musaev F. A., Ivanova L. V. et al. Milk productivity of Holstein cows under year-round stall housing. International Journal of Experimental Education. 2013. No 5. Pp. 54-55.

Kostomakhin N. M. Selection traits of Holstein cattle, their heritability, genetic and phenotypic correlations. Innovations in the Livestock and Veterinary Medicine Industry: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2021. V. 2. Pp. 237-243.

4. Efimova L. V., Zaznobina T. V., Frolova O. A. et al. Influence of mother cows on the physico-chemical properties of daughters' milk. Agrarian Scientific Journal. 2019. No 11. Pp. 60-64.

5. Chasovshchikova M. A., Kostomakhin N. M. Economic features of Holstein cows with different levels of milk productivity. Chief Zootechnician. 2025. No 2 (259). Pp. 39-49.

6. Schutz M. M., Hansen L. B., Steuernagel G. R., Kuck A. L. Variation of milk, fat, protein, and somatic cells for dairy cattle. Dairy Science Journal. 1990. V. 73. No 2. Pp. 484-493.

7. Berry D. P., Wall E., Pryce J. E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. Animal. 2014. V. 8. I. 1. Pp. 105-121.

8. Baymukanov A. D., Baymukanov D. A., Batanov S. D., Abdulmuslimov A. M., Yuldashbaev Yu. A., Savchuk S. V., Baranova I. A. Fundamentals of experimental work in animal husbandry: textbook. Moscow: Russian State Agrarian University, 2024. 136 p.

9. Larin O. V., Alifanov S. V., Zuev N. P. et al. Comparative characteristics of cows of different breeds in breeding farms of the Voronezh region. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2023. No 2 (100). Pp. 282-287.

10. Kostomakhin N. M., Voronkova O. A., Gabedava M. A. Improvement of Black-and-White cattle of various origins. Kaluga; 2023. 122 p.

11. Sermyagin A. A. et al. Morphological composition of somatic cells in cow milk. Agricultural Biology. 2021. No 56 (6). Pp. 1183-1198.

12. Zaznobina T. V., Efimova L. V., Ivanova O. V. Influence of Genotypic Factors on the Content of Somatic Cells in Milk. Bulletin of Agrarian Science. 2019. No 5 (80). Pp. 67-74.

13. Bolgov A. E., Komlyk I. P., Grishina N. V., Patalainen L. S. Age-Related and Hereditary Factors of Somatic Cell Variability. Genetics and Animal Breeding, 2019. No 2. Pp. 36-41.

14. De Vries A., Marcondes M. I. Overview of factors affecting productive lifespan of dairy cows. Animal. 2020. V. 14. I. 1. Pp. s155-s164.

15. Bittante G., Cecchinato A. Genetic analysis of milk spectra. Dairy Science Journal. 2013. V. 96. No 9. Pp. 5991-6006.

Информация об авторах

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), ВолгГТУ (Российская Федерация 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, д. 28), ORCID:https://orcid.org/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

Мосолов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Мосолова Елизавета Александровна, лаборант-исследователь, студент, ГНУ НИИММП, (Российская Федерация, 400066, Волгоград, ул. им Рокоссовского, 6), ВолгГТУ (Российская Федерация 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, д. 28), ORCID 0009-0003-3898-4439, e-mail: elizavetamosolova37@gmail.com

Шахбазова Ольга Павловна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, Донской государственный аграрный университет (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, посёлок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9810-0162, e-mail:deler@yandex.ru

Раджабов Расим Гасанович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры, Донской государственный аграрный университет (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, посёлок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID:https://orcid.org/0000-0001-8913-3501, e-mail:rasim.rg@yandex.ru

Authors' Information

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), VolgGTU (Russian Federation 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8683-8159, e-mail:niimmp@mail.ru

Slozhenkina Marina Ivanovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Volga Region Research Institute for 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 0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Mosolov Aleksandr Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru

Mosolova Elizaveta Aleksandrovna, Laboratory assistant -researcher, Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), VolgGTU (Russian Federation 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID 0009-0003-3898-4439, e-mail: elizavetamosolova37@gmail.com

Shakhbazova Olga Pavlovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Persianovsky settlement, Krivoshlykova str., 24), ORCID:https://orcid.org/0000-0001-9810-0162, e-mail:deler@yandex.ru

Radzhabov Rasim Gasanovich, Candidate Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Persianovsky settlement, Krivoshlykova str., 24), ORCID:https://orcid.org/0000-0001-8913-3501, e-mail:rasim.rg@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-33

THE "DI-LACTOZIN-YA" PREBIOTIC ADDITIVE BIOLOGICAL EFFECTIVENESS IN THE YOUNG CHICKENS FEEDING

[1]Slozhenkina M. I., [1]Gorlov I. F., [1]Mosolov A. A., [1]Vorontsova E. S., [2]Shakhbazova O. P., [2]Rajabov R. G.

[1]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation
[2]Don State Agrarian University
Persianovsky, Rostov region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 23.04.2026 Submitted 05.05.2026

This study was conducted within the framework of the State Assignment GNU NIIMMP 2025-2029 № 125030603224-4.

Abstract

Introduction. Amid global restrictions on antibiotic growth promoters in compliance with international and Russian regulations, coupled with the rapid rise of antibiotic resistance among pathogens, the development of safe and effective alternatives-prebiotic feed additives for targeted modulation of the poultry gut microbi-

ome and enhanced industrial poultry productivity has gained particular relevance. **Materials and methods.** The scientific experiment was conducted in 2022-2025 at the breeding reproducer SP "Svetlyy" of ZAO "Agrofirma Vostok" (Volgograd region) and the vivarium of the NVTS "New Biotechnologies". The object of the study was the prebiotic feed additive "Di-lactocin-Ya" based on lactulose, organic acids (malic, ascorbic), and glycine. The aim of this study is the scientific and practical justification for using a lactulose-based prebiotic feed additive in the rations of replacement pullets of the egg cross. **Results and conclusions.** The "Di-lactocin-Ya" additive increased Bifidobacterium spp. count by 4.1 times (P<0.01) and reduced Candida spp. by 12.6 times (P<0.01) compared to the control. Digestibility of crude fat, protein, and NFE increased by 2.0-3.2 percentage points (P<0.01-0.001), with more pronounced morphological development of the reproductive system; at 5 g/kg, it systematically modulates the microbiota, optimizes metabolism, and accelerates reproductive development, making it recommended for replacement pullet rearing technologies in egg crosses.

Keywords: *prebiotic feed additives, young chickens, chickens feeding, young chicken diets, the feed additives effectiveness.*

Citation. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Shakhbazova O. P., Rajabov R. G. The "Di-lactozin-Ya" prebiotic additive biological effectiveness in the young chickens feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 298-306 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-33.
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+636.087.7

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕБИОТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ «ДИ-ЛАКТОЦИН-Я» У РЕМОНТНЫХ КУРОЧЕК

[1]**Сложенкина М. И.,** *доктор биологических наук, член-корреспондент РАН*
[1]**Горлов И. Ф.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
[1]**Мосолов А. А.,** *доктор биологических наук*
[1]**Воронцова Е. С.,** *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник*
[2]**Шахбазова О. П.,** *доктор биологических наук*
[2]**Раджабов Р. Г.,** *кандидат сельскохозяйственных наук*

[1]*ФГБНУ «Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции»*
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]*ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет*
пос. Персиановский, Октябрьский район, Ростовская область, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Гос. задания ГНУ НИИММП 2025-2029 гг., № 125030603224-4.

Актуальность. В условиях глобального ограничения применения кормовых антибиотиков роста в соответствии с международными и российскими нормами, а также стремительного роста антибиотикорезистентности среди патогенов, особую актуальность приобретает разработка безопасных и эффективных альтернатив – пребиотических кормовых добавок для целенаправленной модуляции кишечного микробиома и повышения продуктивности промышленного птицеводства. **Материалы и методы.** Научный эксперимент проводился в 2022-2025 гг. на базе племенного репродуктора СП «Светлый» ЗАО «Агрофирма «Восток» (Волгоградская область) и вивария НВЦ «Новые биотехнологии». Объектом исследования служила пребиотическая кормовая добавка «Ди-лактоцин-Я» на основе лактулозы, органических кислот (яблочной, аскорбиновой) и глицина. Цель настоящего исследования – научно-практическое обоснование использования пребиотической кормовой добавки на основе лактулозы в рационах ремонтных курочек яичного кросса. **Результаты и выводы.** Добавка «Ди-лактоцин-Я» повысила численность Bifidobacterium spp. в 4,1 раза (P < 0,01) и снизила Candida spp. в 12,6 раза (P < 0,01) по сравнению с контролем. Переваримость сырого жира, протеина и БЭВ выросла на 2,0-3,2 п.п. (P < 0,01-0,001). Отмечено более выраженное морфологическое развитие репродуктивной системы. «Ди-лактоцин-Я» (5 г/кг) системно модулирует микробиоценоз, оптимизирует метаболизм и ускоряет репродуктивное развитие; рекомендуется для технологий выращивания ремонтного молодняка кур яичных кроссов.

Ключевые слова: *пребиотические кормовые добавки, молодняк кур, кормление молодняка кур, рационы молодняка кур, эффективность кормовых добавок.*

Цитирование. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Воронцова Е. С., Шахбазова О. П., Раджабов Р. Г. Биологическая эффективность пребиотической добавки «Ди-лактоцин-Я» у ремонтных курочек. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 298-306. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-33.

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. Птицеводство является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей агропромышленного комплекса Российской Федерации, играющей ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны. Благодаря внедрению интенсивных технологий, использованию высокопродуктивных кроссов и оптимизации систем кормления отрасль способна в короткие сроки обеспечивать население высококачественной диетической продукцией – мясом птицы и яйцом [4]. Фундаментальные исследования в области физиологии пищеварения и нормирования потребностей птицы в энергии, протеине и биологически активных веществах создали научную базу для достижения высокой конверсии корма и продуктивности [4, 5].

За последние десятилетия достигнуты значительные успехи в селекции кроссов, совершенствовании технологий выращивания и разработке специализированных рационов. Вместе с тем остаются актуальными вопросы формирования устойчивого микробиоценоза кишечника, оптимизации обменных процессов и обеспечения гармоничного развития репродуктивной системы ремонтного молодняка [5]. Снижение адаптационного потенциала и нарушения микробного баланса могут оказывать негативное влияние на показатели дальнейшей продуктивности и сохранности стада, что требует разработки научно обоснованных подходов к управлению здоровьем птицы на ранних этапах онтогенеза.

Однако интенсификация птицеводства сопряжена с рядом серьезных вызовов. Традиционно для стимуляции роста и профилактики заболеваний в промышленном птицеводстве широко применялись кормовые антибиотики. Некорректное и бесконтрольное использование противомикробных препаратов привело к глобальной проблеме – распространению антибиотикорезистентности. Одновременно рост масштабов производства сопровождается увеличением экологической нагрузки, в частности, за счет эмиссии азотистых соединений из помета и нарушений микробного баланса кишечника, что требует разработки стратегий снижения негативного воздействия на окружающую среду [8]. Исследования последних лет подтверждают, что включение в рацион птицы добавок на основе лактулозы позволяет не только улучшить показатели здоровья и продуктивности, но и снизить токсическую нагрузку за счет оптимизации микробиоценоза и уменьшения эмиссии вредных газов [8]. Это создает предпосылки для развития устойчивых технологий птицеводства, обеспечивающих безопасность продукции и сохранение экологического баланса.

В связи с этим в мировой и отечественной практике наметился устойчивый тренд на поиск альтернатив кормовым антибиотикам. Особую актуальность приобретают кормовые добавки на основе пребиотиков, пробиотиков, фитобиотиков и органических кислот, способные обеспечить конкурентоспособную продуктивность без использования антибактериальных препаратов [6, 7]. Концепция пребиотиков, предложенная Gibson и Roberfroid в исследовании на модели человека [7], определила направление поиска веществ, избирательно стимулирующих рост полезной микрофлоры, в то время как работы Fuller [6] заложили основы применения пробиотических культур для модуляции микробиоты.

Среди перспективных направлений выделяется использование пребиотиков на основе лактулозы – синтетического дисахарида, обладающего высоким пребиотическим индексом. Лактулоза не гидролизуется в верхних отделах желудочно-кишечного тракта, достигает толстого кишечника в неизмененном виде и избирательно стимулирует рост бифидобактерий и лактобацилл, способствуя подавлению патогенной микрофлоры и улучшению усвоения питательных веществ [1, 3]. Исследования последних лет подтверждают, что включение добавок на основе лактулозы в рацион птицы позволяет не только повысить продуктивность и улучшить конверсию корма, но и снизить токсическую нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения эмиссии вредных газов из помета [8]. Современные мини-обзоры систематизируют данные о механизмах действия олиго- и дисахаридов, подчеркивая их потенциал для оптимизации микробиоценоза и метаболического статуса сельскохозяйственной птицы [3]. Монографические исследования отечественных ученых детально описывают оптимальные схемы и дозировки применения лактулозусодержащих препаратов, демонстрируя их эффективность в рационах различных видов птицы [1].

Цель настоящего исследования – научно-практическое обоснование использования пребиотической кормовой добавки «Ди-лактоцин-Я» в рационах ремонтного молодняка кур для оптимизации микробиоценоза кишечника, улучшения переваримости питательных ве-

ществ и ускорения развития репродуктивной системы. Достижение поставленной цели позволит внести вклад в решение актуальной задачи импортозамещения кормовых добавок и развития устойчивых, экологически безопасных технологий в отечественном птицеводстве.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2022-2025 гг. на базе племенного репродуктора СП «Светлый» ЗАО «Агрофирма «Восток» (Волгоградская область) и вивария НВЦ «Новые биотехнологии». Объектом служил ремонтный молодняк кур яичного кросса «Хайсекс Браун», получавший полноценные гранулированные комбикорма согласно рекомендациям производителя кросса и нормам ФНЦ «ВНИТИП» РАН (2018).

Испытуемым препаратом была кормовая добавка «Ди-лактоцин-Я» (ТУ 10.91.10.260-10514645-2022) – комплексный пребиотик на основе лактулозы, органических кислот (яблочной, аскорбиновой) и глицина.

Эксперимент включал два этапа. На рекогносцировочном этапе (виварий) 120 курочек в возрасте 15-17 недель разделили на 4 группы (n = 30): контрольная (основной рацион, ОР) и три опытные (ОР + добавка в дозах 4, 5 и 6 г/кг). По результатам выбрана оптимальная доза 5 г/кг.

В основном производственном опыте птицу разделили на две группы (n = 30): контрольная получала ОР с кормовым антибиотиком по технологической схеме хозяйства; опытная – ОР с добавкой «Ди-лактоцин-Я» (5 г/кг) без антибиотика. Условия содержания и кормления в группах были идентичны, за исключением изучаемого фактора.

Микробиоценоз слепых отростков оценивали методом количественной ПЦР (32 таксона) в лаборатории ООО «БИОТРОФ+» (Санкт-Петербург); результаты выражали в lg (геномов/г). Переваримость питательных веществ определяли общепринятыми зоотехническими методами. Морфометрию органов, гематологические (эритроциты, лейкоциты, гемоглобин, лейкоформула с расчетом Л/Г коэффициента) и биохимические показатели сыворотки крови (белковые фракции, глюкоза, Ca, P, витамин D) анализировали стандартными лабораторными методами.

Статистическую обработку проводили методом вариационной статистики. Для показателей микробиоты расчет выполняли на логарифмированных данных (lg). Величины d интерпретировали согласно критериям: > 0,8 – большой эффект, > 1,2 – очень большой [10].

Результаты и обсуждение. Микробиоценоз слепых отростков кишечника является одним из ключевых факторов, определяющих направленность обменных процессов, интенсивность ферментативного расщепления субстратов и устойчивость организма молодняка птицы к условно-патогенной и патогенной микрофлоре. Количественная оценка содержания микроорганизмов, выраженная в lg (геномов/г), позволяет объективно охарактеризовать структурные изменения микробного сообщества под влиянием кормового фактора. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание микроорганизмов в слепых отростках кишечника, lg (геномов/г) (M ± m, n = 30)
Table 1 – Microbial content in the caecum, lg (genomes/g) (M ± m, n = 30)

Микроорганизм / Microorganism	Группы / Groups			
	Контрольная / Control	I опытная / experimental I	II опытная / experimental II	III опытная / experimental III
Нормофлора / Normoflora				
Blautia spp.	9,78 ± 0,15	9,75 ± 0,14	10,12 ± 0,12	9,70 ± 0,16
Bacteroides spp.	12,08 ± 0,10	11,56 ± 0,11*	11,58 ± 0,12*	11,40 ± 0,13**
Bifidobacterium spp.	11,03 ± 0,10	11,05 ± 0,11	11,64 ± 0,09**	11,12 ± 0,12
Faecalibacterium pr.	10,92 ± 0,08	10,67 ± 0,09	10,64 ± 0,11	11,13 ± 0,10
Lactobacillus spp.	10,75 ± 0,12	11,09 ± 0,10*	10,85 ± 0,13	10,37 ± 0,15
Roseburia inul.	7,60 ± 0,20	7,18 ± 0,22	7,00 ± 0,25	6,59 ± 0,28*
Methanosphaera st.	6,90 ± 0,25	6,20 ± 0,30	7,02 ± 0,28	6,00 ± 0,32*
Условно-патогенная микрофлора / Conditionally pathogenic microflora				
Escherichia coli	6,70 ± 0,12	6,59 ± 0,15	6,56 ± 0,10	6,58 ± 0,14
Патогенная микрофлора / Pathogenic microflora				
Candida spp.	7,40 ± 0,18	7,37 ± 0,19	6,30 ± 0,20**	6,30 ± 0,17**

Анализ содержания микроорганизмов в слепых отростках кишечника, lg (геномов/г), показывает, что введение добавки в рационы молодняка кур сопровождалось перестройкой микробного сообщества, носившей дозозависимый характер.

У птицы, получавшей 4 г/кг, численность Blautia spp. достоверно не отличалась от значений в контрольной группе – разница составила – 0,03 lg, что соответствует снижению в 1,07 раза. При дозе 5 г/кг данный показатель во второй опытной группе превысил уровень в контроле на 0,34 lg, или в 2,2 раза, тогда как при 6 г/кг отмечено уменьшение на 0,08 lg (в 1,2 раза). Таким образом, наибольшая выраженность положительных изменений наблюдалась при среднем уровне включения добавки.

Содержание Bifidobacterium spp. у птицы, получавшей 5 г/кг, превышало значение в контрольной группе на 0,61 lg, что составляет увеличение в 4,1 раза (P < 0,01), тогда как при 4 и 6 г/кг различия носили недостоверный характер. Повышение численности бифидобактерий именно при средней дозировке указывает на формирование более выраженного сахаролитического и антагонистического потенциала кишечной микрофлоры.

Faecalibacterium prausnitzii у молодняка третьей опытной группы (6 г/кг) превышала показатель в контрольной группе на 0,21 lg, что соответствует увеличению в 1,6 раза, в то время как при дозах 4 и 5 г/кг отмечалось незначительное снижение на 0,25 и 0,28 lg, или в 1,8-1,9 раза соответственно. Данные изменения свидетельствуют о вариабельности бутиратобразующей фракции в зависимости от уровня включения добавки.

Содержание Lactobacillus spp. у птицы первой опытной группы (4 г/кг) превышало значение в контроле на 0,34 lg, что в 2,2 раза больше (P < 0,05), при дозе 5 г/кг различия были незначительными (0,10 lg, +1,26 раза), тогда как при 6 г/кг показатель оказался ниже контроля на 0,38 lg, что соответствует снижению в 2,4 раза. Следовательно, стимуляция лактобацилл наиболее выражена при минимальной дозировке препарата.

Численность Escherichia coli в опытных группах не имела статистически значимых различий с контролем, однако во всех вариантах наблюдалась тенденция к снижению: при 4 г/кг – 6,59 lg, 5 г/кг – 6,56 lg, 6 г/кг – 6,58 lg, в контроле – 6,70 lg. Стабильность или незначительное снижение популяции E. coli на фоне роста бифидобактерий и подавления кандида свидетельствует о сохранении микробного баланса и пребиотической направленности действия добавки.

Одновременно содержание Candida spp. у молодняка, получавшего 5 и 6 г/кг, было достоверно ниже значения в контрольной группе на 1,10 lg, что в 12,6 раза меньше (P < 0,01), тогда как при дозировке 4 г/кг различия отсутствовали. Выраженное подавление дрожжеподобных грибов в группах со средним и максимальным уровнем включения добавки указывает на формирование антагонистического потенциала, связанного с активацией нормофлоры.

Таким образом, представленные в таблице 1 данные свидетельствуют о том, что включение добавки в рацион молодняка кур приводит к структурной перестройке микробиоценоза слепых отростков кишечника, при этом наиболее выраженные и статистически подтверждённые изменения отмечаются при дозировке 5 г/кг, что характеризуется увеличением численности бифидобактерий и лактобацилл, снижением содержания кандида и стабильностью популяции E. coli, отражая сбалансированную пребиотическую модуляцию.

Функциональное состояние пищеварительной системы молодняка птицы объективно отражается показателями переваримости основных питательных веществ рациона. Изменения коэффициентов усвоения позволяют оценить направленность обменных процессов и эффективность использования корма при введении кормовой добавки. Результаты определения переваримости представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Переваримость питательных веществ испытуемых кормов поголовьем курочек в возрасте 16 недель, %

Table 2 – Digestibility of nutrients of the tested feeds by the population of chickens at the age of 16 weeks, %

Показатель / Indicator	Группы / Groups	
	Контрольная / Control	Опытная (5 г/кг) / Experimental (5 g/kg)
Сухое вещество / Dry matter	66,87 ± 0,28	68,67 ± 0,14***
Органическое вещество / Organic matter	73,75 ± 0,33	75,72 ± 0,45**
Сырой протеин / Crude protein	83,37 ± 0,37	85,38 ± 0,21**
Сырая клетчатка / Crude fiber	13,23 ± 0,24	13,40 ± 0,40
Сырой жир / Crude fat	82,94 ± 0,35	86,17 ± 0,54***
БЭВ / NFE	72,13 ± 0,41	75,06 ± 0,21***

Анализ данных таблицы 2 показывает, что включение добавки в дозе 5 г/кг сопровождалось повышением переваримости сухого вещества. Разница между опытной и контрольной группами составила +1,80 п.п., что статистически подтверждено при P < 0,001. Аналогичная направленность отмечена по органическому веществу, где значения в опытной группе превысили контроль на 1,97 п.п. (P < 0,01), что свидетельствует об увеличении суммарного использования органической фракции рациона.

По сырому протеину разница между группами составила +2,01 п.п. (P < 0,01), что отражает более полное вовлечение белковых компонентов корма в процессы пищеварения и обмена. Наиболее выраженные изменения зафиксированы по сырому жиру: показатель в опытной группе превысил значение в контроле на 3,23 п.п. при высокой степени достоверности (P < 0,001). Переваримость безазотистых экстрактивных веществ увеличилась на 2,93 п.п. (P < 0,001), что характеризует более эффективное использование углеводной части рациона.

Переваримость сырой клетчатки изменялась незначительно: разница между группами составила +0,17 п.п., что не сопровождалось статистически значимыми различиями. Данный факт указывает на относительную стабильность процессов расщепления структурных углеводов при заданной схеме кормления.

В целом полученные данные свидетельствуют о том, что применение добавки в дозировке 5 г/кг ассоциируется с повышением переваримости основных питательных веществ рациона у молодняка кур в возрасте 16 недель. Характер изменений затрагивает преимущественно белково-жировую и легкоферментируемую углеводную фракции корма, что отражает более эффективное использование питательных компонентов по сравнению с контрольной группой.

Морфометрические показатели органов пищеварения и репродуктивной системы отражают интенсивность функционального развития организма молодняка птицы в ответ на кормовой фактор. Оценка массы и длины отдельных органов позволяет определить направленность адаптационных изменений при использовании испытуемого рациона. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение органов пищеварения и размножения курочек в 16-недельном возрасте под влиянием испытуемых рационов
Table 3 – Changes in the digestive organs and reproduction of chickensat 16 weeks of age under the influence of the tested diets

Показатель / Indicator	Группы / Groups	
	Контрольная / Control	Опытная / Experimental
Масса мышечного желудка, г / Mass of the muscular stomach, g	34,56 ± 0,21	35,21 ± 0,12*
Масса железистого желудка, г / The mass of the glandular stomach, g	4,99 ± 0,20	5,22 ± 0,25
Масса печени, г / Liver weight, g	26,01 ± 0,18	26,78 ± 0,20*
Масса поджелудочной железы, г / The mass of the pancreas, g	3,06 ± 0,04	3,28 ± 0,02***
Масса слепых отростков, г / Mass of blind processes, g	4,10 ± 0,08	4,49 ± 0,16*
Длина тонкого отдела кишечника, см / Length of the small intestine, cm	135,03 ± 1,15	142,64 ± 1,06**
Длина яйцевода, см / Length of the oviduct, cm	35,03 ± 0,23	37,50 ± 0,14***
Масса яйцевода, г / Oviduct weight, g	25,29 ± 0,14	27,01 ± 0,12***
Масса яичника, г / Ovarian mass, g	21,37 ± 0,21	23,40 ± 0,18***

Согласно данным таблицы 3, масса мышечного желудка в опытной группе превысила значение в контроле на 0,65 г, что составляет увеличение на 1,9 % (P < 0,05). Причем масса железистого желудка также показала тенденцию к росту на 0,23 г, или на 4,6 %, хотя статистически значимых различий здесь не установлено.

В свою очередь, масса печени у птицы опытной группы превысила контроль на 0,77 г, что соответствует 3,0 % (P < 0,05). Более того, показатель массы поджелудочной железы увеличился на 0,22 г, что соответствует 7,2 % (P < 0,001), отражая наиболее выраженные структурные изменения данного органа под влиянием рациона.

Что касается кишечника, масса слепых отростков у опытной птицы была выше аналогичного показателя в контроле на 0,39 г, что составляет 9,5 % (P < 0,05). Длина тонкого отдела в опытной группе также превышала значение в контрольной на 7,61 см, или на 5,6 % (P < 0,01), при этом более высокая протяженность основного участка пищеварения может характеризовать больший потенциал для переваривания и всасывания нутриентов.

Наибольший интерес представляют показатели органов репродуктивной системы, которые также демонстрировали более высокие значения в опытной группе. Длина яйцевода в опытной группе превышала контроль на 2,47 см, что составляет 7,1 % (P < 0,001). Масса яйцевода была выше на 1,72 г, или на 6,8 % (P < 0,001), а масса яичника – на 2,03 г, что соответствует 9,5 % (P < 0,001).

Следовательно, морфометрический анализ свидетельствует о том, что использование испытуемого рациона ассоциировано с более высокими значениями массы и линейных параметров органов пищеварения и размножения у 16-недельных курочек по сравнению с контрольной группой, при этом наиболее выраженные и статистически подтверждённые различия характерны для поджелудочной железы и органов репродуктивной системы.

Гематологические показатели отражают интенсивность обменных процессов, уровень кислородтранспортной функции крови и состояние иммунологической реактивности организма молодняка перед переводом во взрослое стадо. Анализ морфологического состава цельной крови позволяет оценить физиологическую адаптацию птицы к условиям выращивания и особенностям кормления. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Морфологические показатели цельной крови
Table 4 – Morphological parameters of whole blood

Показатель / Indicator	Группы / Groups	
	Контрольная / Control	Опытная / Experimental
Эритроциты, 10^{12}/л / Red blood cells, 10^{12}/l	3,12 ± 0,04	3,24 ± 0,03*
Гематокрит, % / Hematocrit, %	42,6 ± 0,4	44,1 ± 0,3*
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	151,4 ± 1,8	158,2 ± 1,5*
Лейкоциты, 10^9 /л / White blood cells, 10^9 /l	26,8 ± 0,5	28,9 ± 0,4*
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	69,5 ± 0,6	71,8 ± 0,5
Гетерофилы, % / Heterophiles, %	24,5 ± 0,5	22,1 ± 0,4**
Л/Г коэффициент / L/G ratio	2,84 ± 0,08	3,25 ± 0,07**
Тромбоциты, 10^9/л / Platelets, 10^9/l	28,5 ± 1,2	31,4 ± 0,9

Согласно данным таблицы 4, содержание эритроцитов у птицы, получавшей испытуемый рацион, было выше значения в контрольной группе на $0,12\times10^{12}$/л, что составляет 3,8 % (P < 0,05). Показатель гематокрита в опытной группе также превышал контроль на 1,5 п.п., или на 3,5 % (P < 0,05). Концентрация гемоглобина у молодняка опытной группы была выше значения у сверстниц контрольной группы на 6,8 г/л, что соответствует 4,5 % (P < 0,05) и может отражать более высокую кислородную ёмкость крови.

Количество лейкоцитов у птицы, получавшей добавку, также превышало показатель в контрольной группе на $2,1\times10^9$/л, что составляет 7,8 % (P < 0,05). Доля лимфоцитов в опытной группе была выше на 2,3 процентных пункта, или на 3,3 %, при отсутствии статистически подтверждённых различий. Содержание гетерофилов, напротив, было ниже в опытной группе на 2,4 процентных пункта, что соответствует снижению на 9,8 % (P < 0,01). На этом фоне лейкоцитарный индекс (Л/Г коэффициент) в опытной группе превышал контроль на 0,41, или на 14,4 % (P < 0,01), что характеризует различия в соотношении клеточных форм белой крови.

Что касается числа тромбоцитов, то у молодняка опытной группы этот показатель также был выше значения в контрольной группе на $2,9\times10^9$/л, что составляет 10,2 %, однако статистически значимых различий здесь не выявлено.

Таким образом, морфологический состав крови курочек перед переводом во взрослое стадо характеризуется различиями эритроидного и лейкоцитарного звеньев при использовании испытуемого рациона, что проявляется более высокими показателями, связанными с кислородтранспортной функцией, и перераспределением клеточных форм белой крови по сравнению с контрольной группой.

Заключение. В результате проведённых исследований установлено, что включение пребиотической кормовой добавки «Ди-лактоцин-Я» в рацион ремонтных курочек в дозе 5 г/кг корма ассоциировано с выраженным положительным влиянием на их развитие, формируя предпосылки для реализации продуктивного потенциала.

С целью повышения эффективности выращивания ремонтного молодняка кур и улучшения их последующей продуктивности рекомендуется включение в рацион пребиотической кормовой добавки «Ди-лактоцин-Я» в дозе 5 г/кг корма на протяжении всего периода выращивания.

Conclusion. The conducted studies have shown that including the prebiotic feed additive "Di-lactocin-Ya" in the ration of replacement pullets at a dose of 5 g/kg of feed is associated with a pronounced positive effect on their development, creating prerequisites for realizing their productive potential.

To increase the efficiency of rearing replacement pullets and improve their subsequent productivity, it is recommended to include the prebiotic feed additive "Di-lactocin-Ya" at a dose of 5 g/kg of feed throughout the entire rearing period.

Библиографический список

1. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И. Применение лактулозусодержащих препаратов в животноводстве и при переработке животноводческой продукции: монография. Волгоград: СФЕРА, 2020. 152 с.

2. Донцова Т. Н., Горлов И. Ф., Хорошевская Л. В. Влияние биологически активных добавок на основе пребиотика лактулозы на производственные показатели цыплят-бройлеров. Птица и птицепродукты. 2012. № 2. С. 41-43.

3. Иванищева А. П., Сизова Е. А., Яушева Е. В. Использование пребиотиков на основе олиго- и дисахаридов в птицеводстве – мини-обзор. Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 4. С. 609-620.

4. Фисинин В. И. и др. Научные основы кормления сельскохозяйственной птицы. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2011. 352 с.

5. Околелова Т. М., Енгашев С. В., Егоров И. А. Птицеводство: актуальные вопросы и ответы. Москва: РИОР, 2020. 267 с.

6. Fuller R. Probiotics in man and animals. Journal of Applied Bacteriology. 1989. Vol. 66. No 5. Pp. 365-378.

7. Gibson G. R., Roberfroid M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: intro-ducing the concept of prebiotics. Journal of Nutrition. 1995. Vol. 125. No 6. Pp. 1401-1412.

8. Gorlov I. F. 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. V. 11. № 2. Pp. 429-438.

9. Halder N. et al. Probiotics in poultry: a comprehensive review. The Journal of Basic and Applied Zoology. 2024. V. 85. № 1. Art. 26.

10. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. Frontiers in Psychology. 2013. V. 4. Art. 863.

11. Olowoyeye J. C. Biotics as Sustainable Alternatives to Antibiotics in Nigerian Poultry Farming. Asian Journal of Food Research and Nutrition. 2025. V. 4. No 2. Pp. 522-533.

12. Puvaca N. et al. Direct-fed Microbials (DFM) and Poultry Genomics: A Synergistic Approach to Sustainable Antibiotic Free Farming. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2025.

13. Wang Y. et al. The Application of Probiotics and Prebiotics in Poultry Production and Impacts on Environment: review. Encyclopedia. 2025. V. 5. No 1. Art. 35.

References

1. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I. Application of lactulose-containing preparations in animal husbandry and processing of animal products: monograph. Volgograd: SFERA, 2020. 152 p.

2. Dontsova T. N., Gorlov I. F., Khoroshevskaya L. V. Influence of biologically active additives based on the prebiotic lactulose on the production indicators of broiler chickens. Poultry and poultry products. 2012. No 2. Pp. 41-43.

3. Ivanishcheva A. P., Sizova E. A., Yausheva E. V. The Use of Prebiotics Based on Oligo- and Disaccharides in Poultry Farming – A Mini-Review. Agricultural Biology. 2023. V. 58. No 4. Pp. 609-620.

4. Fisinin V. I. et al. Scientific Foundations of Feeding Farm Poultry. Sergiyev Posad: VNIITIP, 2011. 352 p.

5. Okolelova T. M., Yengashev S. V., Egorov I. A. Poultry Farming: Current Issues and Answers. Moscow: RIOR, 2020. 267 p.

6. Fuller R. Probiotics in man and animals. Journal of Applied Bacteriology. 1989. V. 66. No 5. Pp. 365-378.

7. Gibson G. R., Roberfroid M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: intro-ducing the concept of prebiotics. Journal of Nutrition. 1995. V. 125. No 6. Pp. 1401-1412.

8. Gorlov I. F. 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. V. 11. No 2. Pp. 429-438.

9. Halder N. et al. Probiotics in poultry: a comprehensive review. The Journal of Basic and Applied Zoology. 2024. V. 85. No 1. Art. 26.

10. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. Frontiers in Psychology. 2013. V. 4. Art. 863.
11. Olowoyeye J. C. Biotics as Sustainable Alternatives to Antibiotics in Nigerian Poultry Farming. Asian Journal of Food Research and Nutrition. 2025. V. 4. No 2. Pp. 522-533.
12. Puvaca N. et al. Direct-fed Microbials (DFM) and Poultry Genomics: A Synergistic Approach to Sustainable Antibiotic Free Farming. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2025.
13. Wang Y. et al. The Application of Probiotics and Prebiotics in Poultry Production and Impacts on Environment: review. Encyclopedia. 2025. V. 5. No 1. Art. 35.

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
Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru
Шахбазова Ольга Павловна, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9810-0162, e-mail: oldeler@yandex.ru
Раджабов Расим Гасанович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8913-3501, e-mail: rasim.rg@yandex.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 Aleksandr Anatolyevich, Chief Laboratory Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat and Milk Production (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovsky Str., 6) ORCID: 0000-0002-4927-7065, e-mail: niimmp@mail.ru
Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0000-0002-0730-853X, e-mail: esvoronts@mail.ru
Shakhbazova Olga Pavlovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov Region, Oktyabrsky District, Persianovsky Village, Krivoshlykov Str., 24), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9810-0162, e-mail: oldeler@yandex.ru
Radzhabov Rasim Hasanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov Region, Oktyabrsky District, Persianovsky Village, Krivoshlykov Str., 24), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8913-3501, e-mail: rasim.rg@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-34

THE ALFALFA USING IN THE AQUACULTURE FEEDS

[1,2]Braginets S. V., [1]Bakhchevnikov O. N., [1]Maksak D. A.

[1]Agricultural Research Centre Donskoy
Zernograd, Rostov Region, Russian Federation
[2]Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author: oleg-b@list.ru

Received 03.12.2025 Submitted 26.03.2026

Summary
The article presents the results of a review of an analysis of the prospects for using alfalfa (*Medicago sativa* L.) as a component of aquaculture feeds. A systematic search and critical analysis of scientific literature showed that use of alfalfa can enhance the sustainability and economic efficiency of aquaculture by diversifying the feed base.

Abstract

Introduction. The review analyzes the prospects for using alfalfa (*Medicago sativa* L.) as a component of aquaculture feeds. In the context of a global shortage of fishmeal caused by ecological and economic factors, the search for alternative protein sources is becoming increasingly relevant. Alfalfa attracts attention as a feed raw material due to its high protein content, balanced amino acid profile, and the presence of biologically active compounds. **Object.** Alfalfa green biomass and its processed products, considered as potential feed ingredients for aquaculture was the object of the study. **Materials and methods.** The methodology included a targeted search of scientific publications (2015-2025), selection of sources following the PRISMA-ScR protocol, and critical analysis of the data obtained. **Results and discussion.** The review examines the main alfalfa-derived products (alfalfa meal, protein concentrate, and nutrient concentrate) evaluating their nutritional characteristics and their effects on growth, feed digestibility, and health of aquatic organisms. Research results from various fish and crustacean species are summarized, showing beneficial effects when alfalfa-based products are included in diets in moderate amounts (5-35 %, depending on product type and species). Limitations related to high fiber content and anti-nutritional factors are also identified. **Conclusion.** The findings indicate that using alfalfa can enhance the sustainability and economic efficiency of aquaculture by diversifying the feed base. The review highlights the need for further research aimed at optimizing processing methods and inclusion levels of alfalfa in aquaculture feeds.

Keywords: *alfalfa, fish feeding, fodder grasses, nutritional value of alfalfa, aquaculture.*

Citation. Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Maksak D. A. The alfalfa using in the aquaculture feeds. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 306-320 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-34.

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 633.31:639.3.043.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЮЦЕРНЫ В КОРМАХ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

[1,2]**Брагинец С. В.,** *доктор технических наук, ведущий научный сотрудник*
[1]**Бахчевников О. Н.,** *кандидат технических наук, старший научный сотрудник*
[1]**Максак Д. А.,** *аспирант*

[1]*Аграрный научный центр «Донской»*
г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация
[2]*Донской государственный технический университет*
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальность. Обзор посвящен анализу перспектив использования люцерны (*Medicago sativa* L.) в качестве компонента кормов для аквакультуры. В условиях дефицита рыбной муки, вызванного экологическими и экономическими факторами, особую актуальность приобретает поиск альтернативных источников белка. Люцерна как кормовое сырье привлекает внимание благодаря высокому содержанию протеина, сбалансированному аминокислотному составу и наличию биологически активных веществ. Цель исследования – анализ литературных данных (2015-2025 гг.) по питательному составу люцерны и влиянию различных продуктов ее переработки на рост, конверсию корма, физиологическое состояние и качество продукции гидробионтов (рыб и ракообразных). **Объект.** Объектом исследования являются зеленая масса люцерны и продукты ее переработки, рассматриваемые как потенциальные кормовые ингредиенты для аквакультуры. **Материалы и методы.** Методика включала целенаправленный поиск публикаций в научных базах данных, их отбор по протоколу PRISMA-ScR и критический анализ данных. **Результаты и обсуждение.** Рассмотрены основные продукты переработки люцерны – травяная мука, протеиновый концентрат и концентрат питательных веществ, оценены их питательные характеристики и влияние на рост, усвояемость корма и здоровье гидробионтов. Обобщены результаты исследований на различных видах рыб и ракообразных, свидетельствующие о положительном эффекте при включении переработанных продуктов люцерны в рацион в умеренных дозах (до 5-35 % в зависимости от формы переработки и вида животного). Отмечены ограничения для применения корма с люцерной, связанные с высоким содержанием клетчатки и антипитательных факторов. **Выводы.** Использование люцерны может повысить устойчивость и экономическую эффективность аквакультуры за счет диверсификации кормовой базы. Сделан вывод о необходимости дальнейших исследований по оптимизации способов переработки и доз включения люцерны в корма.

Ключевые слова: *люцерна, кормление рыбы, кормовые травы, питательная ценность люцерны, аквакультура.*

Цитирование. Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Максак Д. А. Использование люцерны в кормах для аквакультуры. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 306-320. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-34.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Аквакультура, являясь наиболее быстрорастущим сектором производства продуктов питания во всем мире, играет решающую роль в обеспечении глобальной продовольственной безопасности и удовлетворении растущего спроса на белок животного происхождения [1]. Традиционно основным источником протеина в кормах для многих видов аквакультуры служила рыбная мука благодаря своему превосходному аминокислотному профилю и хорошей усвояемости [2]. Однако устойчивость и экономическая целесообразность дальнейшего использования рыбной муки вызывают серьезные опасения [3]. Чрезмерный вылов морской рыбы для производства рыбной муки приводит к истощению биоресурсов и нарушению экологического равновесия. Более того, ограниченность предложения и растущий спрос со стороны других секторов животноводства ведут к значительным колебаниям цен на рыбную муку, что увеличивает производственные затраты в аквакультуре [4].

По этой причине научное сообщество и производители кормов активно ищут альтернативные, устойчивые и экономически эффективные источники протеина [5]. Его перспективным источником является растительное сырье, отличающееся высокой возобновляемостью и устойчивостью поставок [6]. Перспективным, но до настоящего времени мало используемым источником протеина в кормах для аквакультуры являются многолетние травы, такие как люцерна, эспарцет, донник, клевер и др. [7]. Среди этих растений наибольшим потенциалом для использования в кормах для аквакультуры обладает люцерна [8].

Люцерна посевная (*Medicago sativa* L.) известна высоким содержанием протеина (15-22 % от сухого вещества), наличием каротиноидов, витаминов и минералов [9]. Люцерна выгодно отличается от других многолетних трав, таких как донник (*Melilotus* L.), эспарцет (*Onobrychis* Mill.), клевер (*Trifolium* L.) и кострец (*Bromus* L.), благодаря своему превосходному питательному профилю [10]. Зеленая масса люцерны в качестве ингредиента кормов характеризуется высоким содержанием переваримого протеина с хорошо сбалансированным аминокислотным составом, что критически важно для роста и развития рыб [9]. В отличие от донника, люцерна не содержит кумарин, обладающий антикоагулянтными свойствами и риском токсичности [11]. По сравнению с эспарцетом, который может содержать танины, снижающие переваримость протеина, люцерна обеспечивает лучшую усвояемость питательных веществ [12]. Клевер, хотя и питателен, может содержать фитоэстрогены, влияние которых на рыб мало изучено, что требует осторожности [13]. Кострец же значительно уступает люцерне по содержанию протеина и общей питательной ценности, являясь преимущественно источником углеводов [14]. Таким образом, богатый и сбалансированный состав люцерны делает ее ценным компонентом для повышения питательности кормов для аквакультуры. Кроме того, люцерна демонстрирует устойчивость к неблагоприятным климатическим условиям, обеспечивая стабильность поставки сырья (зеленой массы) [15].

По этим причинам люцерна, многолетнее бобовое растение, зеленая масса которого традиционно используется в качестве корма для сельскохозяйственных животных, привлекает все большее внимание как потенциальный ингредиент в кормах для рыб. При этом потенциал люцерны как кормового ингредиента для сельскохозяйственных животных, таких как крупный рогатый скот и свиньи, хорошо изучен, однако ее применение в аквакультуре для кормления рыб и ракообразных требует дополнительных углубленных исследований [16, 17].

Эволюция методов ведения сельского хозяйства приводит к снижению спроса на люцерну в традиционном животноводстве. В то же время аквакультура быстро развивается и нуждается в устойчивых источниках белка. Это создает уникальную возможность для того, чтобы аквакультурная отрасль стала новым значительным потребителем люцерны, что потенциально может оживить ее производство.

Несмотря на очевидные преимущества, использование зеленой массы люцерны и продуктов ее переработки в кормах для рыб и ракообразных вызывает вопросы, требующие научного обоснования. Необходимо детально изучить усвояемость питательных веществ люцерны различными видами гидробионтов, определить оптимальные уровни ее включения в рационы без ущерба для темпов их роста и конверсии корма. Важным аспектом является исследование влияния антипитательных факторов, таких как сапонины, содер-

жащихся в люцерне, на организм рыб и ракообразных, и разработка методов их инактивации или снижения негативного воздействия [18]. Кроме того, требуется оценить влияние питательных веществ люцерны на органолептические качества товарной продукции аквакультуры. Таким образом, проведение комплексных научных исследований, направленных на изучение эффективности и безопасности использования зеленой массы люцерны и продуктов ее переработки в качестве заменителя рыбной муки в кормах для аквакультуры, является актуальной и имеющей практическое значение задачей, решение которой будет способствовать повышению устойчивости и экономической эффективности этой отрасли.

Цель исследования – Обобщение и анализ информации из научных статей, посвященных использованию зеленой массы люцерны и продуктов ее переработки в кормах для аквакультуры, для получения информации о ее влиянии на темпы роста и продуктивность гидробионтов, питательной ценности таких кормов.

Объектом исследования являются зеленая масса люцерны и продукты ее переработки, рассматриваемые как потенциальные кормовые ингредиенты для аквакультуры.

Материалы и методы. Работа над обзором включала следующие этапы: целенаправленный поиск и отбор релевантной научной литературы, извлечение из отобранных источников необходимых данных, их систематизация, критический анализ и обобщение установленных закономерностей [19, 20].

Поиск научных статей выполнили в авторитетных научных библиографических базах данных eLIBRARY, Google Scholar, ScienceDirect, Springer Link, а также на платформах крупных научных издательств, таких как MDPI. Отбирали следующие типы научных публикаций: оригинальные исследовательские статьи (Article), обзорные статьи (Review), главы из научных монографий (Chapter). Чтобы обеспечить точность результатов поиска и сужение его предметной области, запросы к базам данных сформировали из ключевых слов и их возможных сочетаний на русском и английском языках.

Процесс обзора предметного поля и выбора статей для последующего анализа был осуществлен согласно пошаговому алгоритму, разработанному по протоколу PRISMA-ScR [21]. Анализ отобранных научных статей был выполнен по методике W. Mengist [22], что гарантировало объективность и последовательность исследования.

Критерии отбора публикаций включали в себя как соответствие тематике исследования, так и научную значимость. Приоритет отдали статьям, получившим наибольшее количество цитирований. Исключение из этого правила составили лишь недавно опубликованные статьи. Для расширения охвата обзора дополнительно проанализировали списки литературы в уже отобранных статьях, что позволило выявить дополнительные релевантные источники.

В обзоре рассмотрены публикации, вышедшие в свет в период с 2015 по 2025 г. Вместе с тем, в обзор включили и статьи, опубликованные до 2015 г. Это делали в тех случаях, когда результаты исследований по конкретным аспектам выбранной темы отсутствовали или были недостаточно представлены в современной научной литературе.

Многоэтапный подход к поиску, отбору и анализу научной литературы позволил сформировать комплексное представление о современном состоянии исследуемой проблемы, выявить ключевые тенденции и направления развития научных исследований в предметном поле.

Результаты и обсуждение. *Люцерна как источник питательных веществ.* Люцерна посевная (*Medicago sativa* L.) изучается как потенциальный источник белка для кормов в аквакультуре, особенно для замены рыбной муки. Исследования фокусируются на ее питательной ценности, влиянии на рост рыбы и устойчивости производства.

Кандидатом для использования в кормах для аквакультуры люцерну делает ее химический состав, включающий 15-22 % протеина, 2 % жиров (включая омега-3 жирные кислоты), витамины и каротиноиды, а также минералы, особенно кальций и фосфор [8, 9]. Белок люцерны отличается высоким качеством, включая более 70 % переваримого протеина [9, 10]. Протеин в составе люцерны содержит значительное количество незаменимых аминокислот, особенно лизина, треонина и метионина, которые часто являются лимитирующими в других растительных кормовых ингредиентах и имеют решающее значение для роста рыбы. Люцерна является значимым источником каротиноидов (провитамина А), витаминов группы B, E, K и D, а также макро- и микроэлементов, включая кальций и фосфор в оптимальном соотношении. Наличие в составе люцерны каротина (до 200 мг/кг) способствует улучшению окраски мяса и здоровья рыб.

Недостатком люцерны как кормового сырья является высокое содержание клетчатки (20-30 %), что представляет собой отрицательный фактор для рыб, особенно плотоядных, которые не обладают способностью к перевариванию больших объемов клетчатки [23].

Люцерна также содержит различные биологически активные вещества, включая сапонины и флавоноиды [24]. Эти соединения могут оказывать различное воздействие на живые организмы, включая антиоксидантное и противовоспалительное. Но следует учитывать, что сапонины могут выступать в качестве антипитательных факторов, ингибируя переваривание белков и усвоение минералов, что может ограничивать использование люцерны в больших количествах [18].

Таким образом, люцерна является богатым источником различных питательных веществ, необходимых для роста и здоровья аквакультурных животных.

Продукты переработки люцерны. Свежескошенную люцерну не используют в аквакультуре, ее перерабатывают в различные продукты, которые затем включают в состав комбинированных кормов. В кормах для аквакультуры используют следующие продукты переработки зеленой массы люцерны: травяная мука, белковый концентрат и концентрат питательных веществ (таблица 1).

Таблица 1 – Продукты переработки люцерны, используемые в аквакультуре
Table 1 – Alfalfa processing products used in aquaculture

Название продукта / Product name	Метод производства / Production method	Содержание питательных веществ / Nutrient content
Травяная мука / Alfalfa meal	Получают путем сушки и измельчения зеленой массы люцерны, в результате чего получают обезвоженное сырье с низкой влажностью / Obtained by drying and grinding the green mass of alfalfa, resulting in dehydrated raw material with low moisture content	Протеин – 15-22 % от сухого вещества. Высокое содержание клетчатки (20-30 %). Содержит жиры (включая омега-3), витамины, каротиноиды и минералы / Protein – 15-22 % of dry matter. High fiber content (20-30 %). Contains fats (including omega-3), vitamins, carotenoids, and minerals
Протеиновый концентрат (APC) / Alfalfa Protein Concentrate (APC)	Выделяют путем отжима сока из зеленой массы, коагуляции и концентрации белковых фракций из сока, с последующей сушкой / Isolated by pressing juice from the green mass, coagulating and concentrating protein fractions from the juice, followed by drying	Протеин – до 55 %. Сбалансированный аминокислотный профиль (высокое содержание лизина и метионина). Низкое содержание клетчатки / Protein – up to 55 %. Balanced amino acid profile (high content of lysine and methionine). Low fiber content
Концентрат питательных веществ (ANC) / Alfalfa Nutrient Concentrate (ANC)	Производят путем концентрирования сока люцерны без фракционирования протеина, сохраняя широкий спектр растворимых питательных веществ, с последующей сушкой / Produced by concentrating alfalfa juice without protein fractionation, preserving a wide range of soluble nutrients, followed by drying	Протеин – 20-25 %. Умеренное содержание клетчатки. Включает витамины, каротиноиды, минералы и биоактивные соединения (флавоноиды) / Protein – 20-25 %. Moderate fiber content. Includes vitamins, carotenoids, minerals, and bioactive compounds (flavonoids)

Травяную муку получают, высушивая и измельчая зеленую массу люцерны. В результате получают обезвоженное кормовое сырье, сохраняющее большую часть питательных веществ люцерны при низкой влажности, обеспечивающей его длительное хранение [25].

Из зеленой массы люцерны получают протеиновый концентрат – Alfalfa Protein Concentrate (APC). В процессе переработки из зеленой массы выделяют сок, из которого затем осаждают и концентрируют белковые фракции [26]. Готовый коагулят высушивают [27]. Полученный продукт содержит высокий уровень протеина (до 55 %), включая незаменимые аминокислоты, и очень малое количество клетчатки. В частности, белковый концентрат содержит достаточное для рыб количество лизина и метионина [28]. По аминокислотному составу люцерновый протеиновый концентрат сопоставим с соевым шротом, но превосходит его по содержанию лизина и метионина [26].

Протеиновый концентрат люцерны является более полноценным источником белка для аквакультурных видов по сравнению с другим растительными сырьем, которое характеризуется дефицитом незаменимых аминокислот [28]. Благодаря использованию протеинового концентрата люцерны в качестве источника белка снижается необходимость в добавлении в корма синтетических аминокислот. Его сбалансированный аминокислотный

профиль жизненно важен для оптимального роста и здоровья водных животных. Состав концентрата в этом отношении делает его ценным кормовым ингредиентом. Таким образом, протеиновый концентрат люцерны является перспективным видом кормового сырья для рыб и ракообразных, подходящим для замены в их рационе рыбной муки.

Экстракт питательных веществ люцерны – Alfalfa Nutrient Concentrate (ANC) – это более широкий по составу концентрат, включающий не только белки, но и другие питательные вещества люцерны: витамины, каротиноиды, минералы и другие биоактивные соединения [29]. Экстракт ANC получают путем концентрирования сока люцерны без фракционирования только протеина, поэтому в продукте сохраняется комплекс всех растворимых питательных веществ [30, 31]. Поэтому экстракт питательных веществ люцерны содержит меньшее количество белка (20-25 %), чем протеиновый концентрат, и большее количество клетчатки. Но благодаря большому количеству витаминов и других биоактивных веществ экстракт может применяться как кормовая добавка для повышения питательной ценности рационов животных.

Все три вида продуктов переработки зеленой массы люцерны могут быть смешаны с другими видами сырья при производстве комбикорма, а затем подвергнуты гранулированию или экструдированию для получения гранулированного корма. H. Chen сообщает, что при приготовлении экструдированного корма для форели, включавшего экстракт люцерны, плотность, водостойкость и прочность гранул улучшались с увеличением его содержания [30]. Таким образом, включение продуктов переработки люцерны может улучшить физические свойства гранул корма для аквакультуры, такие как плотность и водостойкость.

Использование люцерны в кормах для рыб. Многие научные исследования посвящены оценке использования люцерны в аквакультуре, охватывая различные аспекты, такие как ее влияние на рост, здоровье и потребительское качество рыбы. Эти исследования проводили на нескольких наиболее распространенных в аквакультуре видах рыб, таких как карп, тиляпия, форель и др.

Наиболее полно изучено влияние люцерны в составе кормов на организм карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio* L.) (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты исследований по использованию продуктов переработки люцерны в кормах для карпа (*Cyprinus carpio* L.)
Table 2 – Results of studies on the use of alfalfa processing products in feeds for Carp (*Cyprinus carpio* L.)

Вид продукта / Product type	Доза включения (%) / Inclusion dose (%)	Основные результаты / Main results	Ссылка на источник / Source reference
Экстракт питательных веществ (ANC) / Alfalfa Nutrient Extract (ANC)	0,25-1 / 0.25-1	Улучшение удельной скорости роста, коэффициента эффективности протеина, конверсии корма, содержания белка в тушке; повышение устойчивости к бактериям *Aeromonas hydrophila* / Improvement in specific growth rate, protein efficiency ratio, feed conversion, protein content in the carcass; increased resistance to *Aeromonas hydrophila* bacteria	[32]
Протеиновый концентрат (APC) / Alfalfa Protein Concentrate (APC)	5 / 5	Увеличение общей длины и массы тела карпа / Increase in total length and body weight of carp	[29]
Экстракт и травяная мука / Extract and Alfalfa meal	1-4 (экстракт), 3-12 (мука) / 1-4 (extract), 3-12 (meal)	Оптимально 4 % экстракта или 9 % травяной муки для улучшения прироста массы и снижения коэффициента конверсии корма / Optimal 4 % extract or 9 % alfalfa meal for improving weight gain and reducing feed conversion ratio	[33]
Экстракт и травяная мука / Extract and Alfalfa meal	1-4 (экстракт) / 3-12 (мука) / 1-4 (extract), 3-12 (meal)	Увеличение активности пищеварительных ферментов (оптимально 3-4 % экстракта); накопление липидов в печени (до 6 % травяной муки) / Increase in digestive enzyme activity (optimal 3-4 % extract); lipid accumulation in the liver (up to 6 % alfalfa meal)	[34]
Травяная мука / Alfalfa meal	5-10 / 5-10	Улучшение использования питательных веществ и роста при 5 %; ухудшение при 10 % / Improvement in nutrient utilization and growth at 5%; deterioration at 10 %	[35], [36]

B. Ali исследовал влияние экстракта люцерны ANC на мальков карпа [32]. Было установлено, что удельная скорость роста, коэффициент эффективности протеина и коэффициент конверсии корма, а также содержание белка в тушках значительно улучшились (P < 0,05) в группах, получавших рацион с добавлением экстракта в количестве 0,25-1 % от массы корма, причем эффективность добавки увеличивалась с ростом его концентрации в корме. Кроме того, улучшились в дозозависимой манере биохимические показатели крови рыб и активность пищеварительных ферментов, а также повысилась их устойчивость к болезни, вызываемой бактериями *Aeromonas hydrophila*. Таким образом, концентрат питательных веществ люцерны обладает антиоксидантным и иммуноукрепляющим потенциалом, улучшает рост рыб, являясь полезным для устойчивой аквакультуры.

J. Rechulicz исследовал влияние экстракта люцерны на параметры роста карпа [29]. Он установил, что добавление 5 % концентрата из люцерны (по массе) в корм привело к увеличению общей длины и массы тела карпа по сравнению с контролем.

Z. Falamarzi изучил действие на мальков карпа корма, включающего экстракт люцерны (доля в рационе 1-4 %) и травяную муку (3-12 %) [33]. Он установил, что для улучшения прироста массы тела и других показателей оптимальным является использование в рационе 4 % экстракта либо 9 % люцерновой травяной муки, что дает сопоставимый результат. Также при добавлении экстракта и травяной муки люцерны в рацион наблюдалось снижение величины коэффициента конверсии корма. I. Amirzadekani изучил влияние экстракта люцерны и травяной муки с такой же долей в рационе на пищеварительные ферменты и состав печени у мальков карпа начальной массой 20 г [34]. Согласно его результатам, добавление травяной муки и экстракта люцерны в рацион может увеличить активность пищеварительных ферментов и повысить уровень липидов в печени. Наилучший результат по активности ферментов был достигнут при добавлении в корм 3-4 % экстракта, а худший – при добавлении 9-12 % травяной муки. Это объясняется повышенным содержанием в экстракте биологически активных веществ, улучшающих секрецию ферментов, и избыточным количеством неперевариваемой клетчатки или антипитательных веществ в травяной муке. Травяная мука в дозе до 6 % в составе корма способствует накоплению липидов в печени карпа, но ее высокие дозы (9-12 %) оказывают угнетающий эффект на метаболизм в печени.

S. A. Hama и D. M. Halbos исследовали влияние на карпа люцерновой травяной муки. S. A. Hama сообщает, что добавление 5 % травяной муки в рацион молоди карпа (средняя начальная масса 50 г) достоверно улучшило (P < 0,05) использование питательных веществ и рост рыб по сравнению с контрольной группой, тогда как доза 10 % от массы корма ухудшила их [35]. D. M. Halbos получил аналогичные результаты, изучив влияние добавления 5 и 10 % травяной муки в рацион мальков карпа (средняя начальная масса 20 г) [36].

Менее многочисленные эксперименты по добавлению продуктов переработки люцерны в корм для других видов рыб дали результаты, аналогичные приведенным выше результатам для карпа (таблица 3).

Исследования на радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) с использованием экстракта питательных веществ люцерны показали, что, хотя его включение в комбикорм улучшает качество гранул (увеличение плотности, водостойкости, прочности), но при доле в рационе на уровне 10-20 % от массы приводило к снижению удельного темпа роста и повышению коэффициента конверсии корма по сравнению с рационами, содержащими 0 % или 5 % экстракта [30]. Содержание белка в филейной части было выше у рыб, получавших 5 % экстракта. Эти результаты показывают, что включение экстракта люцерны улучшает физические качества гранул корма, не ухудшая кормового поведения и питательных качеств рыбы, но его включение в рацион в количестве более 10 % снижает рост рыбы.

J. Coburn сообщает, что желтый окунь (*Perca flavescens* Mitchill), в рацион которого включили 18 % протеинового концентрата люцерны, заменив им рыбную муку, имел более низкие темпы суточного роста (снижение на 0,07 %) и больший коэффициент конверсии корма (+0,32 г затраченного корма на 1 г прироста массы), чем рыба, получавшая корм с рыбной мукой [28]. При этом не было зафиксировано уменьшения выживаемости, упитанности и снижения качества тушки, в том числе выхода филе по сравнению с контролем.

Таблица 3 – Результаты исследований по использованию продуктов переработки люцерны в кормах для различных видов рыб

Table 3 – Results of studies on the use of Alfalfa processing products in feeds for various fish species

Вид рыбы / Fish species	Вид продукта / Product type	Доза включения (%) / Inclusion dose (%)	Основные результаты / Main results	Ссылка на источник / Source reference
Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) / Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)	Концентрат питательных веществ (ANC) / Nutrient Concentrate (ANC)	5-20 / 5-20	Улучшение качества гранул, содержания белка в филе при 5 %; снижение темпа роста при 10-20 % / Improvement in pellet quality, protein content in fillet at 5 %; reduction in growth rate at 10-20 %	[30]
Желтый окунь (*Perca flavescens*) / Yellow Perch (*Perca flavescens*)	Протеиновый концентрат (APC) / Protein Concentrate (APC)	18 / 18	Снижение суточного роста и увеличение коэффициента конверсии корма; отсутствие снижения выживаемости и качества тушки / Reduction in daily growth and increase in feed conversion ratio; no reduction in survival or carcass quality	[28]
Нильская тиляпия (*Oreochromis niloticus*) / Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	Травяная мука / Alfalfa meal	5-20 / 5-20	Положительный эффект до 5 %; снижение прироста и утилизации питательных веществ при >5 % / Positive effect up to 5%; reduction in growth and nutrient utilization at >5 %	[37]
Мозамбикская тиляпия (*Oreochromis mossambicus*) / Mozambique Tilapia *Oreochromis mossambicus*)	Травяная мука / Alfalfa meal	0-25 / 0-25	Благоприятное воздействие на рост и конверсию корма до 20 % / Favorable impact on growth and feed conversion up to 20 %	[38]
Мозамбикская тиляпия (*Oreochromis mossambicus*) / Mozambique Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)	Протеиновый концентрат (APC) / Protein Concentrate (APC)	До 35 / Up to 35	Увеличение скорости прироста массы; замедление роста при >35 % / Increase in weight gain rate; growth slowdown at >35 %	[39]

A. Ali исследовал влияние люцерновой травяной муки (0-20 %) на мальков нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus* L.) начальной массой 12 г [37]. Он установил, что включение в их рацион травяной муки в количестве более 5 % снижало ($P < 0,05$) показатели прироста и утилизации питательных веществ у рыб по сравнению с контролем, при этом снижение показателей роста линейно коррелировало с увеличением доли люцерновой муки в рационе, а худшие показатели были получены при ее содержании 20 %. Включение в рацион люцерновой муки в количестве более 5 % значительно снизило потребление корма рыбой по сравнению с контрольным рационом. A. Ali сделал вывод, что в рационах для нильской тиляпии можно использовать до 5 % люцерновой травяной муки.

K. K. Yadav оценил влияние люцерновой травяной муки (0-25 %) на мальков мозамбикской тиляпии (*Oreochromis mossambicus* Peters) [38]. Он установил, что комбикорм, включающий до 20 % травяной муки из люцерны, оказывает благоприятное воздействие на рост мальков и коэффициент конверсии корма.

M. A. Olvera-Novoa установил, что протеиновый концентрат люцерны в дозе до 35 % рациона может заменить рыбную муку в корме для молоди мозамбикской тиляпии (*Oreochromis mossambicus*), увеличив скорость прироста ее массы, но более высокая его доля в рационе замедляет рост рыбы [39].

Анализ научных данных показал, что люцерна обладает высоким потенциалом как сырье для корма для рыб, в том числе карпа. Экстракт питательных веществ люцерны (ANC) положительно влияет на рост рыбы, эффективность использования протеина и конверсию корма, при этом наиболее выраженный эффект наблюдается при дозах 3-5 % от массы корма. Однако при использовании люцерновой травяной муки, особенно в количе-

ствах свыше 5 % от массы корма, возможны негативные эффекты, связанные с избытком клетчатки и антипитательных веществ. Для тиляпии и форели оптимальная доза травяной муки в рационе не превышает 5 % по массе, тогда как протеиновый концентрат может частично заменять рыбную муку в количестве до 35 % без потери качества продукции. Умеренное использование люцерны также улучшает физические свойства комбикормов (водостойкость и плотность гранул), что способствует их устойчивости в водной среде.

Таким образом, оптимальное количество и форма добавляемой в корм люцерны зависят от вида рыбы и конкретных условий. В целом, экстракты люцерны показывают более стабильные положительные результаты благодаря высокой концентрации биологически активных веществ и меньшему содержанию неперевариваемой клетчатки по сравнению с травяной мукой, а наиболее безопасным для здоровья рыб является применение протеинового концентрата люцерны.

Использование люцерны в кормах для ракообразных. Продукты переработки зеленой массы люцерны могут быть включены в состав кормов не только для рыб, но и для ракообразных, выращиваемых в предприятиях аквакультуры (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты исследований по использованию продуктов переработки люцерны в кормах для ракообразных
Table 4 – Results of studies on the use of alfalfa processing products in feeds for Crustaceans

Вид ракообразных / Crustacean species	Вид продукта / Product type	Доза включения (%) / Inclusion dose (%)	Основные результаты / Main results	Ссылка на источник / Source reference
Австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*) / Australian Redclaw Crayfish (*Cherax quadricarinatus*)	Травяная мука / Alfalfa meal	10 / 10	Положительное влияние на биохимические показатели, гемоцитарную формулу; отсутствие снижения прироста массы; отсутствие патологических изменений в кишечнике / Positive influence on biochemical parameters, hemocyte formula; no reduction in weight gain; no pathological changes in the intestine	[40], [41]
Австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*) / Australian Redclaw Crayfish (*Cherax quadricarinatus*)	Травяная мука / Alfalfa meal	8 / 8	Улучшение окраски тела; отсутствие влияния на рост и выживаемость / Improvement in body coloration; no influence on growth and survival	[42]
Белоногие креветки (*Litopenaeus vannamei*) / Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*)	Травяная мука / Экстракт питательных веществ / Alfalfa meal / Nutrient extract	12-18 (мука) / 1,8 (экстракт) / 12-18 (meal) / 1.8 (extract)	Положительное влияние на выживаемость, иммунную систему, рост, состав тушки, содержание астаксантина, качество мяса / Positive influence on survival, immune system, growth, carcass composition, astaxanthin content, meat quality	[43], [44]

Ю. М. Ширина исследовала перспективы применения травяной муки из люцерны в составе корма для австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus* Von Martens) [40]. Было установлено, что включение в состав корма 10 % травяной муки вместо рыбной муки оказало положительное влияние на биохимические показатели и гемоцитарную формулу организма рака, и не снизило темпы прироста массы. А. В. Котельников получил сходные результаты при включении в комбикорм для рака 10 % травяной муки из люцерны [41]. Его данные свидетельствуют об активно идущем у красноклешневого рака процессе пищеварения и отсутствии патологических изменений в строении его кишечника.

S. Harpaz добавил в комбикорм для мальков австралийского красноклешневого рака 8 % муки из люцерны [42]. Он установил, что раки, получавшие корм с травяной мукой, продемонстрировали лучшую окраску тела, чем особи из контрольной группы, получавшие обычный корм. Добавление травяной муки люцерны в рацион не повлияло на рост и выживаемость австралийских раков.

K. Babanejad-Abkenar исследовал влияние корма с люцерной на белоногих креветок (*Litopenaeus vannamei* Boone) [43, 44]. В его опытах креветок кормили кормом, включавшим травяную муку или экстракт питательных веществ люцерны. Результаты экспериментов показали, что мука и экстракт листьев люцерны положительно влияют на выживаемость креветок и работу их иммунной системы в условиях низкой солености воды, причем наилучшие результаты были достигнуты при добавлении в комбикорм 12 и 18 % травяной муки и 1,8 % экстракта. Такая добавка положительно влияет на рост, выживаемость, состав тела, содержание астаксантина, качество мяса и иммунную функцию креветок.

Улучшение окраски панциря ракообразных при использовании корма с продуктами переработки люцерны объясняется высоким содержанием в них каротиноидов, которые в организме креветок и раков трансформируются в натуральный астаксантин.

Таким образом, продукты переработки люцерны, а именно травяная мука и экстракт питательных веществ, могут успешно использоваться в составе кормов для раков и креветок, выращиваемых в аквакультуре. При этом их доля в комбикорме может быть больше, чем в кормах для рыб. Но для установления оптимальных доз и форм включения люцерны в корма для ракообразных требуются дополнительные исследования.

Достоинства и недостатки люцерны как корма для аквакультуры. Преимущества использования люцерны в кормах для аквакультуры:

1. Потенциальное снижение себестоимости кормов, так как продукты из люцерны – это более дешевое сырье для приготовления корма, чем рыбная мука.
2. Доступность – люцерна выращивается в различных почвенно-климатических зонах во всем мире, давая хорошие урожаи. Сельхозпредприятия могут использовать для кормления рыбы люцерну, выращенную на их полях.
3. Богатый питательный состав, включающий 15-22 % протеина, а также биологически активные вещества, такие как витамины, каротиноиды и флавоноиды.
4. Потенциальное увеличение привесов и темпов роста гидробионтов.
5. Потенциальное улучшение товарных качеств продукции аквакультуры – увеличение содержания протеина в тушке, улучшение цвета мяса рыб и внешнего вида ракообразных.

Таблица 5 – Достоинства и недостатки использования люцерны в кормах для аквакультуры
Table 5 – Advantages and disadvantages of using alfalfa in aquaculture feeds

Аспект / Aspect	Достоинства / Advantages	Недостатки / Disadvantages	Ссылки на источники / Source references
Экономическая эффективность / Economic efficiency	Снижение себестоимости кормов за счет замены рыбной муки; доступность сырья / Reduction in feed cost through replacement of fish meal; availability of raw material	Необходимость предварительной переработки зеленой массы (увеличение затрат) / Need for preliminary processing of green mass (increased costs)	[1-6], [16], [17]
Питательная ценность / Nutritional value	Высокое содержание протеина (15-22 %), незаменимых аминокислот, витаминов, каротиноидов; улучшение роста и здоровья при умеренных дозах / High protein content (15-22 %), essential amino acids, vitamins, carotenoids; improvement in growth and health at moderate doses	Недостаточное содержание протеина по сравнению с рыбной мукой; высокое содержание клетчатки (20-30 %) снижает усвояемость / Insufficient protein content compared to fish meal; high fiber content (20-30 %) reduces digestibility	[8-10], [23], [26-28]
Влияние на Качество продукции / Impact on product quality	Увеличение прироста, содержания белка в тушке; улучшение окраски мяса у рыб и панциря у ракообразных / Increase in growth, protein content in carcass; improvement in meat coloration in fish and shell in crustaceans	Снижение роста и конверсии корма при высоких дозах (> 5-35 % в зависимости от вида) / Reduction in growth and feed conversion at high doses (> 5-35 % depending on species)	[29-39], [40-44]
Биологически активные вещества / Biologically active substances	Антиоксидантные, иммуноукрепляющие эффекты; улучшение устойчивости к болезням / Antioxidant, immune-strengthening effects; improvement in disease resistance	Антипитательные факторы (сапонины) ингибируют переваривание / Antinutritional factors (saponins) inhibit digestion	[18], [24], [32], [43]

Недостатки люцерны как кормового сырья для аквакультуры:

1. Недостаточное содержание протеина. Травяная мука и экстракт люцерны имеют более низкое содержание белка по сравнению с высококачественной рыбной мукой, что ограничивает их применение в рационах для плотоядных видов рыб.

2. Высокое содержание клетчатки в зеленой массе. Большая доля клетчатки в люцерне, особенно в травяной муке, может снизить усвояемость питательных веществ у рыб и ракообразных, особенно хищных видов.

3. Наличие в составе люцерны антипитательных факторов, таких как сапонины.

4. Необходимость переработки зеленой массы. Для достижения содержания белка, сопоставимого с рыбной мукой, люцерна требует переработки в протеиновый концентрат, что увеличивает себестоимость кормов.

Таким образом, принимая решение о включении продуктов из люцерны в состав кормов для аквакультуры, необходимо тщательно оценивать как их достоинства, так и недостатки (таблица 5).

Выводы. Результаты научных исследований предоставляют убедительные доказательства высокого потенциала люцерны в качестве устойчивого кормового ингредиента в аквакультуре. Химический состав люцерны, богатый питательными веществами, особенно в переработанных формах, таких как протеиновый концентрат, и наличие полезных биологически активных соединений делают ее эффективной альтернативой или дополнением к традиционным видам кормового сырья, таким как рыбная мука. Исследования на различных видах аквакультуры, включая карпа, форель, тиляпию, раков и креветок, показали многообещающие результаты с точки зрения их роста, усвоения питательных веществ и здоровья при включении продуктов переработки люцерны в рационы в определенных дозах.

При умеренном включении люцерна является перспективным растительным кормовым сырьем в аквакультуре: она обогащает рационы белком, витаминами и биоактивными соединениями, при этом обеспечивая дополнительные иммуномодулирующие эффекты. Оптимальные дозы включения зависят от вида животных и формы переработки люцерны: всеядные и травоядные виды гидробионтов могут потреблять ее большее количество, чем хищные виды. В наименьшем количестве в рацион может включаться травяная мука, в большем – экстракт питательных веществ и, особенно, протеиновый концентрат.

Однако рациональное использование зеленой массы люцерны в аквакультуре требует тщательного учета видоспецифических потребностей в питательных веществах, надлежащих методов обработки для повышения содержания белка и усвояемости, а также определения оптимальных уровней включения в рацион для максимизации преимуществ и предотвращения потенциальных негативных эффектов от высокого содержания клетчатки или антипитательных факторов.

Для этого необходимо провести дополнительные исследования. Необходимо дополнительно изучить долгосрочное влияние рационов, включающих люцерну, на рост, здоровье и репродуктивную функцию широкого спектра коммерчески важных видов аквакультуры. Нужно изучить оптимальные методы обработки зеленой массы люцерны для повышения концентрации белка, снижения содержания клетчатки и улучшения биологической доступности ее питательных веществ для различных водных животных. Изучение специфического воздействия биологически активных соединений, входящих в состав люцерны, на здоровье и устойчивость к болезням различных видов аквакультуры поможет лучше понять их потенциал в качестве натуральных иммуностимуляторов. В заключение необходимо провести всесторонний экономический анализ эффективности включения люцерны в корма для аквакультуры, учитывая такие факторы, как расходы на ее переработку.

Интеграция люцерны в качестве сырья для приготовления корма в практику аквакультуры имеет значительный потенциал для повышения устойчивости и экономической жизнеспособности отрасли. Дальнейшие исследования и разработки в этой области будут иметь решающее значение для полного раскрытия потенциала этой универсальной кормовой культуры в качестве ключевого компонента будущих рецептур кормов для аквакультуры.

Conclusions. The results of scientific studies provide convincing evidence for the high potential of alfalfa as a sustainable feed ingredient in aquaculture. Its nutrient-rich chemical composition, especially in processed forms such as protein concentrate, and the presence of valuable bioactive compounds make alfalfa an effective alternative or supplement to traditional feed ingredients such as fishmeal. Research on various aquaculture species, including carp, trout, tilapia, crayfish, and shrimp, demonstrates promising outcomes in terms of growth performance, nutrient utilization, and overall health when alfalfa-derived products are included in diets at appropriate levels.

When used in moderate amounts, alfalfa represents a promising plant-based feed raw material for aquaculture: it enriches diets with protein, vitamins, and bioactive compounds while providing additional immunomodulatory benefits. Optimal inclusion levels depend on species and product type: omnivorous and herbivorous aquatic animals can utilize higher amounts than carnivorous species. Among alfalfa products, grass meal has the lowest permissible inclusion rate, nutrient concentrate allows for higher proportions, and protein concentrate is the most suitable for partial replacement of fishmeal.

However, the rational use of alfalfa in aquaculture requires careful consideration of species-specific nutritional needs, appropriate processing methods aimed at increasing protein concentration and digestibility, and the determination of optimal inclusion levels to maximize benefits while preventing potential negative effects linked to high fiber content or anti-nutritional factors.

Further research is required to assess the long-term effects of alfalfa-based diets on growth, health, and reproductive performance of commercially important aquaculture species. Studies should also focus on advanced processing technologies to enhance protein content, reduce fiber, and improve nutrient bioavailability. Investigation of the specific effects of alfalfa bioactive compounds on immunity and disease resistance will help clarify their role as natural immune stimulants.

Finally, a comprehensive economic evaluation of alfalfa integration into aquaculture feed formulations is necessary, taking into account processing costs and overall production efficiency.

Integrating alfalfa as a feed ingredient has significant potential to improve the sustainability and economic viability of aquaculture. Continued research and development will be essential for fully unlocking the potential of this versatile forage crop as a key component of future aquafeed formulations.

Библиографический список

1. Verdegem M., Buschmann A. H., Latt U. W., et al. The contribution of aquaculture systems to global aquaculture production. Journal of the World Aquaculture Society. 2023. V. 54. No 2. Pp. 206-250.

2. Macusi E. D., Cayacay M. A., Borazon E. Q., et al. Protein fishmeal replacement in aquaculture: A systematic review and implications on growth and adoption viability. Sustainability. 2023. V. 15. No 16. Art. 12500.

3. Hodar A. R., Vasava R. J., Mahavadiya D. R., Joshi N. H. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. Journal of Experimental Zoology India. 2020. V. 23. No 1. Pp. 13-21.

4. Luthada-Raswiswi R., Mukaratirwa S., O'Brien G. Animal protein sources as a substitute for fishmeal in aquaculture diets: A systematic review and meta-analysis. Applied Sciences. 2021. V. 11. No 9. Art. 3854.

5. Revesz N., Biro J. Recent trends in fish feed ingredients – mini review. Acta Agraria Kaposváriensis. 2019. V. 23. No 1. Pp. 32-47.

6. Hussain S. M., Adeeba A., Shafaqat R., et al. Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. Heliyon. 2024. V. 10. No 4. Art. e26573.

7. Roshan K. T. H., Meharoof M., Sajina K. A. Plant-Based Proteins in Fish Diets for Sustainable Coldwater Fisheries. Coldwater Fisheries and Aquaculture Management. 2023. Pp. 217-247.

8. Antoniv S., Kolisnyk S., Zapruta O. Alfalfa: history of the name origin, agroecological importance, basis for high-protein feed. Feeds and Feed Production. 2023. V. 96. Pp. 208-214.

9. Косолапова В. Г., Косолапов В. М., Степанова Г. В. Аминокислотный состав люцерны разных сортов. Кормопроизводство. 2023. № 8. С. 18-21.

10. Karayilanli E., Ayhan V. Investigation of feed value of alfalfa (*Medicago sativa* L.) harvested at different maturity stages. Legume Research – An International Journal. 2016. V. 39. № 2. Pp. 237-247.

11. Байдалин М., Сагалбеков У., Байдалина С. и др. Влияние кумарина на устойчивость донника и способ заготовки корма, снижающий высокую концентрацию кумарина. Izdenister Natigeler. 2022. № 4. С. 63-72.

12. Тарасенко Н. А., Никонович Ю. Н., Бутина Е. А. Особенности химического состава порошка семян эспарцета. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2016. № 2-3. С. 17-21.

13. Кароматов И. Д., Абдулхаков И. У. Клевер луговой – применение в медицине (обзор литературы). Биология и интегративная медицина. 2016. № 5. С. 95-109.

14. Прокина Л. Н. Кормовая продуктивность люцерны и костреца в составе зернотравянопропашных севооборотов при использовании средств химизации в условиях юга Нечерноземной зоны. Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 8. С. 42-45.

15. El-Ramady H., Abdalla N., Kovacs S., et al. Sustainable biorefinery and production of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Egyptian Journal of Botany. 2020. V. 60. No 3. Pp. 621-639.

16. Blume L., Hoischen-Taubner S., Sundrum A. Alfalfa – a regional protein source for all farm animals. Landbauforschung. 2021. V. 71. No 1. Pp. 1-13.

17. Игнатьев С. А., Регидин А. А. Оценка продуктивности и качества корма популяций люцерны в конкурсном сортоиспытании. Зерновое хозяйство России. 2020. № 1. С. 17-22.

18. Joshi V. K., Abrol G. S., Singh A. K. Anti-nutritional factors in food and plant crops. International Journal of Food and Fermentation Technology. 2020. V. 10. No 2. Pp. 101-111.

19. Peters M. D., Marnie C., Colquhoun H., et al. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application. Systematic Reviews. 2021. V. 10. Art. 263.

20. Siddaway A. P., Wood A. M., Hedges L. V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. Annual Review of Psychology. 2019. V. 70. Pp. 747-770.

21. Mattos S. M., Cestari V. R. F., Moreira T. M. M. Scoping protocol review: PRISMA-ScR guide refinement. Revista de Enfermagem da UFPI. 2023. V. 12. No 1. Art. e3062.

22. Mengist W., Soromessa T., Legese G. Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. MethodsX. 2020. V. 7. Art. 100777.

23. Anand G., Kumari P., Varghese T., Dar S. A. Feeding carbohydrates to fish: utilization and looking beyond energy nutrition. Coldwater Fisheries and Aquaculture Management. 2024. Pp. 279-289.

24. Ma J., Huangfu W., Yang X., et al. “King of the forage” – Alfalfa supplementation improves growth, reproductive performance, health condition and meat quality of pigs. Frontiers in Veterinary Science. 2022. V. 9. Art. 1025942.

25. Богатырева Е. В., Фоменко П. А., Мазилов Е. А., Щекутьева Н. А. Оценка питательности и показателей качества гранулированной витаминно-травяной муки, заготовленной в условиях Вологодской области. Вестник НГАУ. 2024. № 3. С. 154-163.

26. Zhang W., Grimi N., Jaffrin M. Y., et al. The short review on the research progress in alfalfa leaf protein separation technology. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2017. V. 92. No 12. Pp. 2894-2900.

27. Coburn J., Wells M. S., Sheaffer C. C., et al. Comparison of plant feedstocks and methods to recover leaf proteins from wet fractionation of alfalfa for potential use in aquaculture, poultry, and livestock feeds. Agrosystems, Geosciences & Environment. 2021. V. 4. No 2. Art. e20184.

28. Coburn J., Wells M. S., Phelps N. B., et al. Acceptance of a protein concentrate from Alfalfa (*Medicago sativa*) by Yellow Perch (*Perca flavescens*) fed a formulated diet. Fishes. 2021. V. 6. No 2. Art. 9.

29. Rechulicz J., Ognik K., Grela E. R. The effect of adding protein-xanthophylls concentrate (PX) from lucerne (*Medicago sativa*) on growth parameters and redox profile in muscles of carp, *Cyprinus carpio* (L.). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2014. V. 14. Pp. 697-703.

30. Chen H., Blaufuss P. C., Deng D. F., et al. Impacts of alfalfa nutrient concentrate on pellet physical attributes, growth performance, metabolism and nutritional quality of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Animal Nutrition. 2024. V. 20. Art. 249.

31. Koegel R. G., Straub R. J. Fractionation of alfalfa for food, feed, biomass, and enzymes. Transactions of the ASAE. 1996. V. 39. No 3. Pp. 769-774.

32. Ali B., Rawal Y. K., Dhillon O., et al. Dietary impact of Alfalfa on growth performance, biochemical profile, and resistance against *Aeromonas hydrophila* in fingerlings of common carp. Fisheries Science. 2024. V. 90. No 3. Pp. 453-465.

33. Falamarzi Z, Zanguee N. Effects of different levels of meal and alcoholic extract of alfalfa (*Medicago sativa*) on growth performance, nutrition, carcass biochemical and some serum biochemical parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Fisheries. 2016. V. 69. No 2. Pp. 235-251.

34. Amirzadekani I., Zanguee N., Mousavi S. M., Zakeri M. Effects of alfalfa (meal and extract) on digestive enzymes and liver composition in juveniles of common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Marine Science and Technology. 2020. Art. e120967.

35. Hama S. A., Abdulrahman N. M., Qader K. O., et al. Effect of adding Alfalfa leaves powder on growth and health performance of Common Carp *Cyprinus carpio* L. Journal of Animal and Poultry Production. 2019. V. 10. No 8. Pp. 257-260.

36. Halbos D. M., Mohammed M. J., Alhamadani A. S. The effect of adding dried Alfalfa powder to the diet on some growth parameters of Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021. V. 25. No 2. Pp. 352-358.

37. Ali A., Al-Asgah N. A., Al-Ogaily S. M., Ali S. Effect of feeding different levels of alfalfa meal on the growth performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. Asian Fisheries Science. 2003. V. 16. Pp. 59-68.

38. Yadav K. K., Sharma B. K., Sharma S. K., et al. Effect of alfalfa (*Medicago sativa*) leaf meal on the growth of *Oreochromis mossambicus* fingerlings. Journal of Experimental Zoology India. 2022. V. 25. No 1. Pp. 27-30.

39. Olvera-Novoa M. A., Campos S. G., Sabido M. G., Palacios C. A. M. The use of alfalfa leaf protein concentrates as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Aquaculture. 1990. V. 90. № 3-4. Pp. 291-302.

40. Ширина Ю. М., Файзулина Д. Р., Конькова А. В. и др. Перспективы использования муки из люцерны в составе кормов для австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*). Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 1. С. 72-81.

41. Котельников А. В., Котельникова С. В., Ширина Ю. М. и др. Морфологическое состояние органов пищеварения красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при использовании кормовых добавок. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2023. № 3. С. 90-96.

42. Harpaz S., Rise M., Arad S., Gur N. The effect of three carotenoid sources on growth and pigmentation of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. Aquaculture Nutrition. 1998. V. 4. No 3. Pp. 201-208.

43. Babanejad-Abkenar K., Akbarzadeh A., Noori A., Niroomand M. Effect of diet containing alfalfa (*Medicago sativa*) powder and leaf extract on hemolymph factors of western whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under low salinity stress. Aquatic Animals Nutrition. 2024. V. 10. No 2. Pp. 1-19.

44. Babanejad-Abkenar K., Akbarzadeh A., Noori A., Niroomand M. Dietary alfalfa improved growth performance, survival, body and fatty acid composition, flesh quality and immune-antioxidant system in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture Reports. 2025. V. 42. Art. 102792.

References

1. Verdegem M., Buschmann A. H., Latt U. W., et al. The contribution of aquaculture systems to global aquaculture production. Journal of the World Aquaculture Society. 2023. V. 54. No 2. Pp. 206-250.

2. Macusi E. D., Cayacay M. A., Borazon E. Q., et al. Protein fishmeal replacement in aquaculture: A systematic review and implications on growth and adoption viability. Sustainability. 2023. V. 15. No 16. Art. 12500.

3. Hodar A. R., Vasava R. J., Mahavadiya D. R., Joshi N. H. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. Journal of Experimental Zoology India. 2020. V. 23. No 1. Pp. 13-21.

4. Luthada-Raswiswi R., Mukaratirwa S., O’Brien G. Animal protein sources as a substitute for fishmeal in aquaculture diets: A systematic review and meta-analysis. Applied Sciences. 2021. V. 11. No 9. Art. 3854.

5. Revesz N., Biro J. Recent trends in fish feed ingredients – mini review. Acta Agraria Kaposváriensis. 2019. V. 23. No 1. Pp. 32-47.

6. Hussain S. M., Adeeba A., Shafaqat R., et al. Substitution of fishmeal: Highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. Heliyon. 2024. V. 10. No 4. Art. e26573.

7. Roshan K. T. H., Meharoof M., Sajina K. A. Plant-Based Proteins in Fish Diets for Sustainable Coldwater Fisheries. Coldwater Fisheries and Aquaculture Management. 2023. Pp. 217-247.

8. Antoniv S., Kolisnyk S., Zapruta O. Alfalfa: history of the name origin, agroecological importance, basis for high-protein feed. Feeds and Feed Production. 2023. V. 96. Pp. 208-214.

9. Kosolapova V. G., Kosolapov V. M., Stepanova G. V. Amino acid composition of various alfalfa varieties. Feed Production. 2023. No 8. Pp. 18-21.

10. Karayilanli E., Ayhan V. Investigation of feed value of alfalfa (*Medicago sativa* L.) harvested at different maturity stages. Legume Research – An International Journal. 2016. V. 39. No 2. Pp. 237-247.

11. Baidalin M. E., Sagalbekov U. M., Baidalina S. E., et al. Effect of coumarin on resistance of sweetclover and method of fodder harvesting that reduces high coumarin concentration. Izdenister Natigeler. 2022. No 4. Pp. 63-72.

12. Tarasenko N. A., Nikonovich Yu. N., Butina E. A. Features of the chemical composition of sainfoin seeds powder. News of higher educational institutions. Food Technology. 2016. No 2-3. Pp. 17-21.

13. Karomatov I. D., Abdulhakov I. U. Red clover using in medicine (review of the literature). Biology and Integrative Medicine. 2016. No 5. Pp. 95-109.

14. Prokina L. N. Forage productivity of alfalfa and brome in grain-grass-row crop rotations with the use of chemicals in the south of Non black soil zone. Achievements of Science and Technology of AICis. 2018. V. 32. No 8. Pp. 42-45.

15. El-Ramady H., Abdalla N., Kovacs S., et al. Sustainable biorefinery and production of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Egyptian Journal of Botany. 2020. V. 60. No 3. Pp. 621-639.

16. Blume L., Hoischen-Taubner S., Sundrum A. Alfalfa – a regional protein source for all farm animals. Landbauforschung. 2021. V. 71. No 1. Pp. 1-13.

17. Ignatiev S. A., Regidin A. A. The estimation of productivity and quality of alfalfa feed in the competitive variety testing. Grain Economy of Russia. 2020. No 1. Pp. 17-22.

18. Joshi V. K., Abrol G. S., Singh A. K. Anti-nutritional factors in food and plant crops. International Journal of Food and Fermentation Technology. 2020. V. 10. No 2. Pp. 101-111.

19. Peters M. D., Marnie C., Colquhoun H., et al. Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application. Systematic Reviews. 2021. V. 10. Art. 263.

20. Siddaway A. P., Wood A. M., Hedges L. V. How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. Annual Review of Psychology. 2019. V. 70. Pp. 747-770.

21. Mattos S. M., Cestari V. R. F., Moreira T. M. M. Scoping protocol review: PRISMA-ScR guide refinement. Revista de Enfermagem da UFPI. 2023. V. 12. No 1. Art. e3062.

22. Mengist W., Soromessa T., Legese G. Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. MethodsX. 2020. V. 7. Art. 100777.

23. Anand G., Kumari P., Varghese T., Dar S. A. Feeding carbohydrates to fish: utilization and looking beyond energy nutrition. Coldwater Fisheries and Aquaculture Management. 2024. Pp. 279-289.

24. Ma J., Huangfu W., Yang X. et al. “King of the forage” – Alfalfa supplementation improves growth, reproductive performance, health condition and meat quality of pigs. Frontiers in Veterinary Science. 2022. V. 9. Art. 1025942.

25. Bogatyreva E. V., Fomenko P. A., Mazilov E. A., Shchekutyeva N. A. Assessment of the nutritional value and quality indicators of granulated vitamin-grass flour prepared in the Vologda region. Proceedings of the NSAU. 2024. No 3. Pp. 154-163.

26. Zhang W., Grimi N., Jaffrin M. Y., et al. The short review on the research progress in alfalfa leaf protein separation technology. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2017. V. 92. No 12. Pp. 2894-2900.

27. Coburn J., Wells M. S., Sheaffer C. C., et al. Comparison of plant feedstocks and methods to recover leaf proteins from wet fractionation of alfalfa for potential use in aquaculture, poultry, and livestock feeds. Agrosystems, Geosciences & Environment. 2021. V. 4. No 2. Art. e20184.

28. Coburn J., Wells M. S., Phelps N. B., et al. Acceptance of a protein concentrate from Alfalfa (*Medicago sativa*) by Yellow Perch (*Perca flavescens*) fed a formulated diet. Fishes. 2021. V. 6. No 2. Art. 9.

29. Rechulicz J., Ognik K., Grela E. R. The effect of adding protein-xanthophylls concentrate (PX) from lucerne (*Medicago sativa*) on growth parameters and redox profile in muscles of carp, *Cyprinus carpio* (L.). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2014. V. 14. Pp. 697-703.

30. Chen H., Blaufuss P. C., Deng D. F., et al. Impacts of alfalfa nutrient concentrate on pellet physical attributes, growth performance, metabolism and nutritional quality of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Animal Nutrition. 2024. V. 20. Art. 249.

31. Koegel R. G., Straub R. J. Fractionation of alfalfa for food, feed, biomass, and enzymes. Transactions of the ASAE. 1996. V. 39. No 3. Pp. 769-774.

32. Ali B., Rawal Y. K., Dhillon O., et al. Dietary impact of Alfalfa on growth performance, biochemical profile, and resistance against *Aeromonas hydrophila* in fingerlings of common carp. Fisheries Science. 2024. V. 90. No 3. Pp. 453-465.

33. Falamarzi Z, Zanguee N. Effects of different levels of meal and alcoholic extract of alfalfa (*Medicago sativa*) on growth performance, nutrition, carcass biochemical and some serum biochemical parameters in common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Fisheries. 2016. V. 69. No 2. Pp. 235-251.

34. Amirzadekani I., Zanguee N., Mousavi S. M., Zakeri M. Effects of alfalfa (meal and extract) on digestive enzymes and liver composition in juveniles of common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Marine Science and Technology. 2020. Art. e120967.

35. Hama S. A., Abdulrahman N. M., Qader K. O., et al. Effect of adding Alfalfa leaves powder on growth and health performance of Common Carp *Cyprinus carpio* L. Journal of Animal and Poultry Production. 2019. V. 10. No 8. Pp. 257-260.

36. Halbos D. M., Mohammed M. J., Alhamadani A. S. The effect of adding dried Alfalfa powder to the diet on some growth parameters of Common Carp (*Cyprinus carpio* L.). Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021. V. 25. No 2. Pp. 352-358.

37. Ali A., Al-Asgah N. A., Al-Ogaily S. M., Ali S. Effect of feeding different levels of alfalfa meal on the growth performance and body composition of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. Asian Fisheries Science. 2003. V. 16. Pp. 59-68.

38. Yadav K. K., Sharma B. K., Sharma S. K., et al. Effect of alfalfa (*Medicago sativa*) leaf meal on the growth of *Oreochromis mossambicus* fingerlings. Journal of Experimental Zoology India. 2022. V. 25. No 1. Pp. 27-30.

39. Olvera-Novoa M. A., Campos S. G., Sabido M. G., Palacios C. A. M. The use of alfalfa leaf protein concentrates as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). Aquaculture. 1990. V. 90. № 3-4. Pp. 291-302.

40. Shirina Y., Faizulina D., Konkova A., et al. Prospects for using alfalfa flour as part of feed for Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). Proceedings of the Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2023. No 1. Pp. 72-81.

41. Kotelnikov A.V., Kotelnikova S.V., Shirina Y.M., et al. Morphological state of the digestive organs red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) by the use of feed additives. Proceedings of the Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2023. No 3. Pp. 90-96.

42. Harpaz S., Rise M., Arad S., Gur N. The effect of three carotenoid sources on growth and pigmentation of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. Aquaculture Nutrition. 1998. V. 4. No 3. Pp. 201-208.

43. Babanejad-Abkenar K., Akbarzadeh A., Noori A., Niroomand M. Effect of diet containing alfalfa (*Medicago sativa*) powder and leaf extract on hemolymph factors of western whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under low salinity stress. Aquatic Animals Nutrition. 2024. V. 10. No 2. Pp. 1-19.

44. Babanejad-Abkenar K., Akbarzadeh A., Noori A., Niroomand M. Dietary alfalfa improved growth performance, survival, body and fatty acid composition, flesh quality and immune-antioxidant system in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture Reports. 2025. V. 42. Art. 102792.

Информация об авторах

Брагинец Сергей Валерьевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14), доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID: 0000-0001-7137-5692, e-mail: sbraginets@mail.ru

Бахчевников Олег Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14), ORCID: 0000-0002-3362-5627, e-mail: oleg-b@list.ru

Максак Дмитрий Андреевич, аспирант, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Российская Федерация, 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 14). ORCID: 0009-0001-0056-8857, e-mail: maksak.1998@mail.ru

Authors' Information

Braginets Sergey Valereyvich, Doctor of Engineering Sciences, Leading Researcher, Agricultural Research Centre Donskoy (Russian Federation, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin str., 14), Associate Professor, Don State Technical University (Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), ORCID: 0000-0001-7137-5692, e-mail: sbraginets@mail.ru

Bakhchevnikov Oleg Nikolayevich, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, Agricultural Research Center Donskoy (Russian Federation, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin str., 14), ORCID: 0000-0002-3362-5627, e-mail: oleg-b@list.ru

Maksak Dmitriy Andreevich, Postgraduate student, Agricultural Research Centre Donskoy (Russian Federation, 347740, Rostov region, Zernograd, Lenin str., 14), ORCID: 0009-0001-0056-8857, e-mail: maksak.1998@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-35

THE NARROW-LEAVED FIREWEED (IVAN-CHAI) CULTIVATION EFFICIENCY IN THE NORTH-WESTERN REGION OF RUSSIA

[1]Varakin A. T., [2]Simonov G. A., [2]Starkovskiy B. N., [3]Simonov A. G., [1]Vorontsova E. S., [2]Starkovskaya N. V.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin
Vologda, Russian Federation
[3]Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: varakinat58@mail.ru

Received 17.03.2026 Submitted 20.05.2026

The work was carried out within the framework of the State Research Assignment for Scientific research work registered in CITIS №. 123122900075-6 «Development scientific and practical foundations for the large-scale cultivation and use of the fireweed narrow-leaved plant (Ivan tea) in Russia».

Summary

The article presents generalized results of our own research, domestic and foreign scientists related to the biology of the fireweed (Ivan-chai) narrow-leaved plant for its cultivation and use in the national economy.

Abstract

Introduction. The interest of many researchers in the fireweed plant (Ivan-chai) is caused by the search for new highly nutritious fodder crops with productive longevity, unpretentious to growing conditions and issues of ecologization of agriculture, as well as to the return of the historical traditions of the ancestors who used

the leaves of this plant as raw materials for making tea and other products based on it. Knowledge of the biology of this plant will make it possible to determine the issues of its cultivation and use for the national economy of the country. **Object.** The object of research was the narrow-leaved fireweed and its biological features. **Materials and methods.** We used materials from scientific articles by domestic and foreign scientists, as well as our own research and experimental results conducted in the North-Western Federal District of the Russian Federation. **Results and conclusion.** The analysis of the literature data and the results of our own research have shown the expediency of growing fireweed (Ivan-chai) plants in the North-Western region of the Russian Federation. The soil conditions meet the requirements of the plant. The best way to propagate Ivan tea plants in a cultivated environment is vegetative – with root scions 15 cm long to a planting depth of 10 cm, the yield of green mass in cultivated plantings, without the use of fertilizers, is significantly lower than in natural populations and averages 23,7 t/ha. The inclusion of the green mass of fireweed (Ivan-chai) in the feed composition during the silage of legumes in an amount of 10-15 % of the weight allows you to prepare a good quality feed without the use of preservatives.

Keywords: *fodder crops, narrow-leaved fireweed, cultivation of narrow-leaved fireweed, yield of narrow-leaved fireweed, fodder value of narrow-leaved fireweed.*

Citation. Varakin A. T., Simonov G. A., Starkovskiy B. N., Simonov A. G., Vorontsova E. S., Starkovskaya N. V. The narrow-leaved fireweed (Ivan-chai) cultivation efficiency in the north-western region of Russia. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 320-327 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-35.
Authors' contribution. All authors of the study were directly involved in the planning, conducting or analyzing this work. The authors of this article are familiar with the submitted final version and approved it.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.2:582.886

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КИПРЕЯ УЗКОЛИСТНОГО (ИВАН-ЧАЯ) В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

[1]**Варакин А. Т.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Симонов Г. А.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Старковский Б. Н.,** *кандидат сельскохозяйственных наук, докторант*
[3]**Симонов А. Г.,** *кандидат экономических наук, доцент*
[1]**Воронцова Е. С.,** *кандидат биологических наук*
[2]**Старковская Н. В.,** *магистрант*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина»
г. Вологда, Российская Федерация
[3]ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
г. Москва, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках Государственного задания по НИР, зарегистрированной в ЦИТИС № рег. 123122900075-6 «Разработка научных и практических основ широкомасштабного возделывания и использования растения кипрея узколистного (иван-чая) в России».

Актуальность. Интерес многих исследователей к растению кипрей узколистный (иван-чай) вызван поиском новых высокопитательных кормовых культур, обладающих продуктивным долголетием, неприхотливыми к условиям произрастания и вопросами экологизации земледелия, а также к возврату исторических традиций предков, которые использовали листья этого растения в качестве сырья для приготовления чая и др. продуктов на его основе. Знание вопросов биологии этого растения позволит предопределять вопросы его культивирования, использования для народного хозяйства страны. **Объект.** Объектом исследований являлся кипрей узколистный и его биологические особенности. **Материалы и методы.** Использовали материалы научных статей отечественных и зарубежных учёных, а также собственные результаты исследований и экспериментов, проведённые на территории Северо-Западного федерального округа РФ. **Результаты и выводы.** Проведённый анализ литературных данных и результатов собственных исследований показал целесообразность выращивания растений кипрея узколистного (иван-чая) в условиях Северо-Западного региона РФ. Почвенные условия соответствуют предъявляемым требованиям растения. Наилучшим способом размножения растений иван-чая в условиях культуры является вегетативный – корневыми отпрысками длиной 15 см на глубину посадки 10 см. Урожайность зелёной массы в культурных посадках, без применения удобрений, значительно ниже, чем в природных популяциях и составляет в среднем 23,7 т/га. Включение зелёной массы кипрея (иван-чая) в состав корма при силосовании бобовых трав в количестве 10-15 % от массы позволяет приготовить корм хорошего качества без применения консервантов.

Ключевые слова: *кормовые культуры, кипрей узколистный, возделывание кипрея узколистного, урожайность кипрея узколистного, кормовая ценность кипрея узколистного.*

Цитирование. Варакин А. Т., Симонов Г. А., Старковский Б. Н., Симонов А. Г., Воронцова Е. С., Старковская Н. В. Эффективность возделывания кипрея узколистного (иван-чая) в Северо-Западном регионе России. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 320-327. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-35.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Экономическая целесообразность выращивания любого растения строится на знании биологии культивируемого вида и рациональных приёмах его возделывания, способствующих раскрытию его генетического потенциала под необходимые цели и задачи. Сегодня кипрей узколистный (иван-чай) находит широкое применение в пищевой отрасли, медицине, кормопроизводстве, пчеловодстве, лесовосстановлении. Как биологический вид он широко распространён на всей территории РФ.

Кипрей узколистный (Epilobium angustifolium) или иван-чай (Chamerion angustifolium): различие в названии родов связано с мнением и взглядами учёных. Единого мнения среди учёных нет. Одни исследователи выделяют иван-чай в отдельный род на основании его морфологических отличий от остальных родов семейства Кипрейные (Onagraceae). Род иван-чай включает один вид, а род Кипрей включает 50 видов.

Иван-чай – растение многолетник колониальной формы доминирования и захвата территории. Поэтому следует скорее говорить не о продолжительности жизни одного растения, а колонии, в которой встречаются разновозрастные особи. В природных условиях колония живёт 15 и более лет. В зависимости от условий произрастания корневая система может быть корневищно-корнеотпрысково-стержневой. Способы размножения и распространения семенной и вегетативный. Иван-чай узколистный – типичный поликарпик с побегами, цикл развития которых не более одного вегетационного периода [1].

Народнохозяйственную ценность представляют все части растения: корни, стебли, листья и семена [1, 2].

Кормовая ценность иван-чая заключается в его питательности и хорошей силосуемости. Зелёная масса растения содержит достаточное количество сахаров, что позволяет его использовать в качестве добавки при силосовании бобовых растений (клевера, козлятника восточного, люцерны). Так, при его добавлении в количестве 10 % к клеверу и 15 % к люцерне от массы бобовых трав получают корм хорошего качества [2, 3, 4].

В ряде научных работ указано, что правильно составленные рационы животных по всем веществам, необходимым для их питания, эффективно влияют на рост и развитие [5-8], продуктивность и качество получаемой продукции [9-17], здоровье и воспроизводительную способность [18-25], что необходимо учитывать при кормлении скота.

Кроме того, цветущий иван-чай при благоприятных условиях обладает высокой мёдопродуктивностью в пересчёте на сахар 250-300 кг/га.

Материалы и методы. Объектом исследований являлся кипрей узколистный (иван-чай). Источником информации были работы отечественных и зарубежных учёных, а также собственные исследования авторов по вопросам культивирования и использования растения, проведённые в условиях Северо-Западного региона РФ.

Целью наших исследований была оценка биологических способностей иван-чая к его произрастанию в условиях культуры.

В задачу исследования входило:

- определить требования растения к почвенным условиям;
- изучить возможности семенного и вегетативного размножения;
- оценить показатели продуктивности в условиях культуры;
- на основании полученных данных объективно оценить возможность культивирования этого растения.

Результаты и обсуждение. Иван-чай – неприхотливое растение. В условиях малого количества поступления органического материала и особенности его медленного разложения приводят к формированию на такой территории кислых почв. Почвенная кислотность обусловлена значительным содержанием алюминия. Данное обстоятельство является существенным фактором, ограничивающим урожайность большинства сельскохозяйственных культур, так как на кислых почвах растения страдают от недостатка азота, фосфора, калия, кальция и магния.

Иван-чай (кипрей узколистный) – уникальный вид. Для него высокая кислотность почвы не является лимитирующим фактором. Почвенные условия (pH почвы 4,5-5,0) способствуют лучшему поглощению и транспорту фосфора в растении иван-чая и это благо-

приятно влияет на рост его корней и побегов, увеличивается фотосинтетическая продуктивность. Таким образом, наличие почвенной кислотности положительно сказывается на продуктивности растений кипрея. Этому также способствует возможность растений иван-чая к накоплению и связыванию тканями достаточного количества элементов питания, благодаря чему в колонии иван-чая повышается устойчивость к недостатку элементов минерального питания отдельных растений. Обладая хорошо развитой корневой системой, его корни способны как перехватывать влагу атмосферных осадков, так и доставать её из более глубоких водообеспеченных горизонтов на лёгких песчаных почвах, что делает его конкурентоспособным видом при недостатке влаги.

Многие исследователи сходятся во мнении, что такая пластичность делает его идеальным видом для широкомасштабного возделывания, особенно на почвах непригодных для сельскохозяйственных культур интенсивного типа, предъявляющих особые условия к почвам.

В естественных условиях захват новых территорий иван-чаем производится исключительно семенами. Подобно семенам одуванчика, они также имеют опушение, благодаря чему разносятся ветром на большие расстояния, а из-за высокой семенной продуктивности (до 4 млн шт./га), попадая в благоприятные условия, моментально становятся доминирующим видом. Особенностью семян иван-чая является их малый размер. Вес 1000 семян в среднем составляет 0,04 г. Для производства это создает существенные трудности: в настоящее время не решён вопрос процесса сбора семян и отделения их от летучек (пуха) для дальнейшего дражирования. Вторая особенность – это растянутый период цветения растений и неравномерное созревание семян в кисти. Цветение в условиях Северо-Западного федерального округа начинается в третьей декаде июня – первой декаде июля и заканчивается в августе. Кроме того, семена иван-чая после созревания практически не имеют периода покоя (всхожесть у свежеубранных семян не менее 95 %). Имея изначально высокую семенную продуктивность, показатель всхожести через год снижается до 65 %, а на второй год теряется практически полностью. У иван-чая высокий процент гибели молодых растений из числа проросших осенью (до 70 %) в процессе перезимовки. Ввиду этих особенностей семенной способ с практической точки зрения неприемлем [26].

Размножение иван-чая посредством вегетативного способа имеет ряд преимуществ.

Рост колонии идёт преимущественно за счёт интенсивного разрастания корневой системы. На почвах лёгкого механического состава корневая система может проникать на глубину до 2 метров. Мясистые корни иван-чая имеют многочисленные почки возобновления. В наших исследованиях метровый корень растения иван-чая в условиях легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы в возрасте 3-5 лет даёт гарантировано 8-10 полноценных побегов, а его биологический потенциал, рассчитанный по наличию количества почек возобновления, более 80. Проведённые нами исследования по использованию этого потенциала показали возможность размножения растений иван-чая (рисунок 1 и 2).

Рисунок 1 – Отрезок корня с проросшими почками
Figure 1 – A section of root with sprouted buds

Рисунок 2 – Получение рассады иван-чая из отрезков корней
Figure 2 – Obtaining the fireweed seedlings from root segment

Кроме того, широко используется размножение иван-чая отрезками корневых отпрысков. Наши исследования этого вопроса доказали его эффективность (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние глубины заделки и длины корневых отпрысков на проективное покрытие территории иван-чаем
Table 1 – The influence of planting depth and length of root shoots on the projective coverage of the territory with fireweed

Глубина посадки, см / Planting depth, cm	Длина корневых отпрысков, см / Length of root shoots, cm			$НСР_{05}$, шт./м^2 / SSD_{05}, pcs/m^2
	5	15	25	
	шт./м^2 / pcs/m^2	шт./м^2 / pcs/m^2	шт./м^2 / pcs/m^2	
5	26	39	41	3,9
10	24	37	39	
15	12	24	30	
20	7	17	22	
$НСР_{05}$, шт./м^2 / SSD_{05}, pcs/m^2	2,7			

Данные таблицы 1 показывают, что оптимальной глубиной посадки является 10 см. Дальнейшее увеличение глубины посадки существенно снижает количество стеблей на м^2. Длина отрезка корня 15 см в этом случае также показала существенное отличие по сравнению с более короткими отрезками, а с учётом глубины посадки этот вариант ещё и показал лучший прирост в количестве стеблей.

Изучение вопроса размножения иван-чая зелёным черенкованием (получение посадочного материала из частей стеблей растения) показало, что и это возможно (рисунок 3) [27, 28].

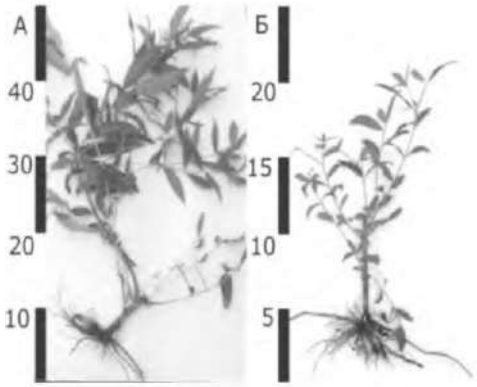


Рисунок 3 – Растения иван-чая, выращенные путём зелёного черенкования
Figure 3 – Fireweed plants grown by green cuttings

В настоящее время в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию, включён сорт кипрея узколистного (иван-чая) «Вологодский» код сорта: 7953624.

Урожайность, как важный показатель продуктивности, колонии иван-чая в искусственных посадках во многом определяется характером использования проводимых мероприятий по уходу. Растения иван-чая положительно отзываются на внесение удобрений, особенно азотных. Сопоставив данные авторов и собственные исследования, мы получили продуктивность посадки иван-чая в зависимости от условий питания, которая представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Действие удобрений на продуктивность посадки иван-чая на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (т/га)
Table 2 – The effect of fertilizers on the productivity of Fireweed planting on sod-podzolic light loamy soil (t/ha)

Варианты опыта / Experimental options	Урожайность зелёной массы / Yield of green mass	Прибавка к контролю / Increase in control
Контроль (без удобрений) / Control (no fertilizers)	23,73	-
Контроль + N_{30} / Control + N_{30}	27,38	3,65
Контроль + N_{60} / Control + N_{60}	29,16	5,43

Урожайность зелёной массы в культурных посадках значительно меньше, чем в естественных условиях, где по данным исследований она может достигать и 60 т/га. Связано это с тем, что в условиях затенения стебли растения кипрея (иван-чая) узколистного тянутся к свету и соответственно формируют стебли высотой до 170-200 см и более. Это хорошо видно на кипрейных вырубках в лесу и лесных опушках. В культурных посадках этого можно добиться при применении азотных удобрений в повышенных дозах.

Выводы. Благодаря проведённому анализу литературных данных и собственным исследованиям и наблюдениям можно констатировать, что иван-чай является ценным объектом для использования в народном хозяйстве страны и его внедрение в культуру представляет практический интерес.

Кипрей (иван-чай) узколистный – растение не требовательное к условиям произрастания, но положительно отзывается, как и все растения, на наличие в почве доступных элементов питания. Для условий Северо-Западного региона иван-чай может составить хорошее дополнение к кормовому рациону сельскохозяйственных животных. Почвенные условия региона благоприятны для его культивирования.

Рациональным способом размножения в условиях культуры следует считать вегетативный – корневыми отпрысками. Длина отпрысков 15 см, глубина заделки 10 см. Урожайность искусственной колонии иван-чая по усреднённым данным авторов исследований 23,7 т/га без применения удобрений. Добавка кипрея (иван-чая) узколистного в количестве 10-15 % при силосовании с бобовыми травами приводит к хорошим показателям качества корма без применения консервантов.

Культивирование иван-чая узколистного позволит широко использовать полезные свойства этого растения в народном хозяйстве страны.

Conclusions. Thanks to the analysis of literary data and our own research and observations, it can be stated that Fireweed is a valuable object for use in the national economy of the country and its introduction into culture is of practical interest.

Fireweed narrow-leaved is plant that is not demanding of growing conditions, but it responds positively, like all plants, to the presence of available nutrients in the soil. For the conditions of the North-Western region, Fireweed can make a good addition to the feed ration of farm animals. The soil conditions of the region are favorable for its cultivation.

Vegetative root offspring should be considered a rational method of reproduction in a culture. The length of the offspring is 15 cm; the depth of the seal is 10 cm. The yield of an artificial colony of Fireweed, according to the average data of the authors of the research, is 23,7 t/ha without the use of fertilizers. The addition of fireweed narrow-leaved in an amount of 10-15 % during silage with legumes leads to good feed quality indicators without the use of preservatives.

Cultivation of Fireweed narrow-leaved will make it possible to widely use the beneficial properties of this plant in the national economy of the country.

Библиографический список

1. Malinovskaya Yu. N. et al. Cultivation of fireweed (Epilobium ngustifolium) together with nettle dioecious (Urtica dioica). From Intertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture (IDSISA 2020): International Scientific and Practical Conference. Art. 03004.

2. Хализова З. Н. и др. Технология возделывания кипрея узколистного в условиях северного региона на кормовые цели. АгроСнабФорум. 2018. № 5 (161). С. 66-68.

3. Симонов Г. А. и др. Состав органических кислот силоса из клевера лугового и его смеси с иван-чаем. Молочнохозяйственный вестник. 2024. № 1 (53). С. 78-88.

4. Старковский Б. Н. Влияние кипрея узколистного на качество силоса из люцерны. Кормопроизводство. 2019. № 3. С. 40-44.

5. Варакин Н. А. и др. Использование жмыхов разных видов при выращивании телят. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 295-304.

6. Симонов Г. А. и др. Эффективное кормление высокопродуктивных молочных коров на разных физиологических стадиях. Эффективное животноводство. 2018. № 1 (140). С. 28-29.

7. Садыков М. и др. Рост и развитие тёлок горского скота и помесей с русской комолой в Дагестане. Молочное и мясное скотоводство. 2019. № 5. С. 22-25.

8. Зотеев В. С. и др. Комбикорма с нетрадиционными источниками протеина для сельскохозяйственных животных. Эффективное животноводство. 2022. № 3 (178). С. 26-27.

9. Садыков М. и др. Мясные качества бычков калмыцкого скота в предгорной зоне Дагестана. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 34-37.

10. Садыков М. и др. Использование казахской белоголовой породы для увеличения производства говядины в Дагестане. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 6. С. 32-34.

11. Тяпугин Е. А. и др. Потребность суягных овцематок в меди в условиях аридной зоны России. Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 50-54.

12. Степурина М. А. и др. Продуктивные качества дойных коров при оптимизации минеральной обеспеченности рационов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 269-280.

13. Дуборезов В. Кормление молочных коров по детализированным нормам. Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 52-55.

14. Степурина М. А. и др. Кормовые добавки для повышения питательной ценности рационов и продуктивности лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 170-179.

15. Саломатин В. В. и др. Влияние бишофита и фосфатидного концентрата на мясную продуктивность свиней. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. Выпуск 2. С. 46-51.

16. Ховатов Н. Э. и др. Эффективная кормовая добавка в рационах ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 441-447.

17. Mandzhiev D. B., Gayirbegov D. Sh., Simonov G. A. Substantiation of the need of fat tailed pregnant ewes in cobalt. Annals of Agricultural Bio Research. 2019. V. 24. I. 2. Pp. 332-337.

18. Варакин А. Т. и др. Органический селен и дрожжевой пробиотик в рационах лактирующих свиноматок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 152-161.

19. Батанов С. Д., Березкина Г. Ю., Килин В. В. Влияние минеральной добавки «Стимул» на биохимические показатели крови. Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. 2014. Т. 220. С. 38-42.

20. Варакин А. Т. и др. Влияние кормовой добавки «Крезацин» на обмен веществ у ремонтных свинок. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 332-338.

21. Зотеев В. С. и др. Оптимизация уровня меди в рационе холостых овцематок. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 2. С. 31-34.

22. Зотеев В. С. и др. Потребность холостых овцематок калмыцкой курдючной породы в меди. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 3. С. 42-45.

23. Садыков М. М. и др. Зоотехнические показатели чистопородного и помесного молодняка КРС в равнинной провинции Дагестана. Зоотехния. 2021. № 9. С. 12-15.

24. Симонов Г. А. и др. Влияние минеральной добавки на уровень общего белка и его фракций в сыворотке крови коров. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 73-79.

25. Симонов Г. А. и др. Биологическая ценность комплексной минеральной добавки для лактирующих коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 238-247.

26. Вахрушева В. В. Особенности развития и роста кипрея узколистного, полученного из семян. Аграрная наука на современном этапе: состояние, проблемы, перспективы: материалы III научно-практической конференции с международным участием. 2020. С. 326-331.

27. Шапиро Я. С. Некоторые аспекты культивирования кипрея узколистного (Chamerion Angustifolium (L) Holub, Onagraceae). Известия Санкт-Петербургского государственного университета. 2015. № 30. С. 29-31.

28. Никифоров В. Е. и др. Способ получения посадочного материала кипрея узколистного (иван-чая). Патент на изобретение RU 2799600 C1, 07.07.2023. Заявка № 2022110065 от 14.04.2022.

References

1. Malinovskaya Yu. N. et al. Cultivation of fireweed (Epilobium ngustifolium) together with nettle dioecious (Urtica dioica). From Intertia to Develop: Research and Innovation Support to Agriculture (IDSISA 2020): International Scientific and Practical Conference. Art. 03004.

2. Khalizova Z. N. et al. The technology of cultivation of narrow-leaved fireweed in the conditions of the northern region for forage purposes. AgroSnabForum. 2018. No 5 (161). Pp. 66-68.

3. Simonov G. A. et al. The composition of organic acids of meadow clover silage and its mixture with fireweed. Dairy farming bulletin. 2024. No 1 (53). Pp. 78-88.

4. Starkovskiy B. N. The influence of narrow-leaved fireweed on the quality of alfalfa silage. Fodder production. 2019. No 3. Pp. 40-44.

5. Varakin N. A., et al. Usage of the different types of pomaces in the calf rearing. Proceedings of Nizhnevolzhskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education. 2025. No 5 (83). Pp. 295-304.

6. Simonov G. A. et al. Effective feeding of highly productive dairy cows at different physiological stages. Efficient animal husbandry. 2018. No 1 (140). Pp. 28-29.

7. Sadykov M. M. et al. The growth and development of heifers of mountain cattle and crossbreeds with Russian hornless breed in Dagestan. Dairy and beef cattle breeding. 2019. No 5. Pp. 22-25.

8. Zoteev V. S. et al. Compound feed with non-traditional protein sources for farm animals. Efficient animal husbandry. 2022. No 3. (178). Pp. 26-27.

9. Sadykov M. et al. Meat qualities of Kalmyk cattle calves in the foothill zone of Dagestan. Dairy and beef cattle breeding. 2020. No 4. Pp. 34-37.

10. Sadykov M. et al. The use of the Kazakh white-headed breed to increase beef production in Dagestan. Dairy and beef cattle breeding. 2020. No 6. Pp. 32-34.

11. Tyapugin E. A. et al. Copper requirements of pregnant ewes in the arid zone of Russia. Russian Agricultural Science. 2018. No 2. Pp. 50-54.

12. Stepurina M. A. et al. Productive qualities of dairy cows while optimizing the mineral supply of rations. Proceedings of Lower Volga agrarian university complex: science and higher vocational education. 2020. No 4 (60). Pp. 269-280.

13. Duborezov V. Feeding dairy cows according to detailed standards. Dairy and beef cattle breeding. 2020. No 4. Pp. 52-55.

14. Stepurina M. A. et al. Feed additives to increase the nutritional value of diets and the productivity of lactating cows. Proceedings of Lower Volga agrarian university complex: science and higher vocational education. 2019. No 4 (56). Pp. 170-179.

15. Salomatin V. V., et al. Influence of bischofite and phosphatide concentrate on meat productivity of pigs. Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2020. No 2. Pp. 46-51.

16. Khovatov N. E., et al. An effective feed additive in the diets of repair pigs. Proceedings of Lower Volga agrarian university complex: science and higher vocational education. 2023. No 1 (69). Pp. 441-447.

17. Mandzhiev D. B., Gayirbegov D. Sh., Simonov G. A. Substantiation of the need of fat tailed pregnant ewes in cobalt. Annals of Agricultural Bio Research. 2019. V. 24. I. 2. Pp. 332-337.

18. Varakin A. T. et al. Organic selenium and yeast probiotic in the diets of lactating sows. Proceedings of Lower Volga agrarian university complex: science and higher vocational education. 2021. No 4 (64). Pp. 152-161.

19. Batanov S. D., Berezkina G. Yu., Kilin V. V. Influence of mineral additive "Stimulus" on blood biochemical parameters. Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2014. V. 220. Pp. 38-42.

20. Varakin A. T. et al. The influence of the feed additive “Krezacin” on the metabolism of replacement pigs. Proceedings of Lower Volga agrarian university complex: science and higher vocational education. 2023. No 1 (69). Pp. 332-338.

21. Zoteev V. S. et al. Optimization of the copper level in the diet of single ewes. Sheep, goats, wool business. 2018. No 2. Pp. 31-34.

22. Zoteev V. S. et al. The need for single sheep of the Kalmyk black-tailed breed in copper. Sheep, goats, wool business. 2018. No 3. Pp. 42-45.

23. Sadykov M. M., et al. Zoo technical indicators of purebred and mixed-breed young cattle in the lowland province of Dagestan. Zootechny. 2021. No 9. Pp. 12-15.

24. Simonov G. A. et al. The influence of mineral supplements on the level of total protein and its fractions in the blood serum of cows. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2022. No 1. Pp. 73-79.

25. Simonov G. A., et al. Biological value of a complex mineral supplement for lactating cows. Proceedings of Lower Volga agrarian university complex: science and higher vocational education. 2022. No 2 (66). Pp. 238-247.

26. Vakhrusheva V. V. Features of the development and growth of narrow-leaved fireweed obtained from seeds. In the collection Agricultural science at the present stage: state, problems, prospects: materials of the III scientific and practical conference with international participation. 2020. Pp.326-331.

27. Shapiro Ya. S. Some aspects of the cultivation of narrow-leaved fireweed (Chamerion Angustifolium (L) Holub, Onagraceae). Proceedings of the Saint Petersburg State University. 2015. No 30. Pp. 29-31.

28. Nikiforov V. E. et al. A method for obtaining the planting material of narrow-leaved fireweed (ivan tea). Patent for invention RU 2799600 C1, 07.07.2023. Application No 2022110065 dated 04/14/2022.

Информация об авторах

Варакин Александр Тихонович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@mail.ru

Симонов Геннадий Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина» (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2), ORCID 0000-0003-4559-233X, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

Старковский Борис Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина», (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2), ORCID 0000-0003-3251-2214, e-mail: bor.2076@yandex.ru

Симонов Александр Геннадьевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6), ORCID 0000–0002–8497–9564, e-mail: alexandersimonov@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

Старковская Наталья Владимировна, магистрант кафедры, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н. В. Верещагина», (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2), ORCID 0009-0002-6658-4566, e-mail: starnat77@yandex.ru

Authors' Information

Varakin Aleksandr Tikhonovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID 0000-0003-0375-7108, e-mail: varakinat58@maul.ru

Simonov Gennady Aleksandrovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Vologda State Dairy Academy named after N. V. Vereshchagin (Russian Federation, 160555, Vologda, village Molochnoe, Shmidt Str., 2), ORCID 0000-0003-4559-233X, e-mail: gennadiy0007@mail.ru

Starkovsky Boris Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin (Russian Federation, 160555, Vologda, village Molochnoye, Schmidt str., 2), ORCID 0000-0003-3251-2214, e-mail: bor.2076@yandex.ru

Simonov Aleksandr Gennadievich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (Russian Federation, 117198, Moscow, Miklukho-Maklay Str. 6), ORCID 0000–0002–8497–9564, e-mail: alexandersimonov@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

Starkovskaya Natalia Vladimirovna, Master's student, Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin (Russian Federation, 160555, Vologda, village Molochnoye, Schmidt Str., 2), ORCID 0009-0002-6658-4566; e-mail: starnat77@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-36

THE POTENTIAL ALLERGENS ANALYSIS OF THE FEEDS FOR THE SENSITIVE DIGESTION DOGS WITH THE BIOINFORMATICS METHODS USAGE

Ivantsova E. A., Venetsiansky A. S., Ulybina A. R.

Volgograd State University
Volgograd, Russian Federation

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

Received 26.01.2026 Submitted 30.03.2026

Abstract

Introduction. The relevance of the problem of sensitive digestion in dogs is increasing due to the growing complexity of commercial pet food formulas, which include numerous additives, preservatives, and flavor enhancers that can negatively affect the gastrointestinal tract (GIT). An improperly selected diet is the cause of up to 30 % of internal diseases in dogs. This study analyzed the composition of three commercial dry foods marketed for dogs with sensitive digestion: Brit Premium Sensitive (economy class), Royal Canin Maxi Digestive Care (premium class), and Ownat Adult Care digestive (super-premium class). The aim was to identify potentially allergenic components and assess their allergenic potential using bioinformatics methods. Proteins from ingredients such as barley (Gamma-hordein-3), corn (16kDa gamma-zein), soy (Glycinin G4), and chicken (myoglobin) were analyzed. Using the UniProt, Allergome, and InterPro databases, as well as the AllerTOP, BLAST, and BepiPred 3.0 tools, the probable allergenicity of the studied proteins was confirmed, their homologs were identified, and B-cell epitopes were predicted. The results showed that all three foods, despite their specialization, contain components with high allergenic potential, particularly cereals. The highest number of potentially undesirable ingredients (wheat, barley, corn gluten, vegetable protein isolate) was found in Royal Canin Maxi Digestive Care. The study confirms the hypothesis that even specialized dietary foods can contain allergens capable of causing adverse food reactions, which highlights the importance of a thorough analysis of food composition when choosing a diet for dogs with a sensitive GIT.

Keywords: *sensitive dog digestion, food allergies, dog digestion, food allergens, commercial dog food, adverse food reactions.*

Citation. Ivantsova E. A., Venetsiansky A. S., Ulybina A. R. The potential allergens analysis of the fees for the sensitive digestion dogs with the bioinformatics methods usage. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 328-335 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-36.
Authors contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All authors of this article reviewed and approved the submitted final version.
Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.7.084/.087:616-056.3:577.1

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АЛЛЕРГЕНОВ В КОРМАХ ДЛЯ СОБАК С ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ПИЩЕВАРЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОИНФОРМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Иванцова Е. А., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Венецианский А. С., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
Улыбина А. Р.

ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Проблемы чувствительного пищеварения у собак возрастает в связи с усложнением состава промышленных кормов, включающих множество добавок, консервантов и усилителей вкуса, которые могут негативно влиять на желудочно-кишечный тракт (ЖКТ). Неправильно подобранный рацион является причиной до 30 % внутренних заболеваний у собак. В рамках данного исследования был проведен анализ состава трех коммерческих сухих кормов, позиционируемых производителями как предназначенные для собак с чувствительным пищеварением: Brit Premium Sensitive (эконом-класс), Royal Canin Maxi Digestive Care (премиум-класс) и Ownat Adult Care digestive (супер-премиум класс). Целью работы было выявление потенциально аллергенных компонентов и оценка их аллергенного потенциала с помощью биоинформатических методов. Были проанализированы белки таких ингредиентов, как ячмень (Gamma-hordein-3), кукуруза (16kDa gamma-zein), соя (Glycinin G4) и курица (миоглобин). С использованием баз данных UniProt, Allergome, InterPro и инструментов AllerTOP, BLAST, BepiPred 3.0 была подтверждена вероятная аллергенность исследо-

ванных белков, определены их гомологи и предсказаны В-клеточные эпитопы. Результаты показали, что все три корма, несмотря на свою специализацию, содержат компоненты с высоким аллергенным потенциалом, в частности злаковые. Наибольшее количество потенциально нежелательных ингредиентов (пшеница, ячмень, кукурузная клейковина, изолят растительных белков) было выявлено в корме Royal Canin Maxi Digestive Care. Исследование подтверждает гипотезу о том, что даже специализированные диетические корма могут содержать аллергены, способные вызывать неблагоприятные пищевые реакции, что подчеркивает важность тщательного анализа состава корма при выборе рациона для собак с чувствительным ЖКТ.

Ключевые слова: *чувствительное пищеварение собак, кормовая аллергия, пищеварение собак, аллергены кормов, промышленные корма, неблагоприятные пищевые реакции.*

Цитирование. Иванцова Е. А., Венецианский А. С., Улыбина А. Р. Анализ потенциальных аллергенов в кормах для собак с чувствительным пищеварением с использованием биоинформатических методов. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 328-335. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-36.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Авторы настоящей статьи ознакомлены с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На протяжении многих лет, и особенно в настоящее время, проблема чувствительной пищеварительной системы у собак, проявляющаяся в виде аллергии на корма, становится все более актуальной, что связано с появлением новой и многокомпонентной кормовой базы, имеющей сложный состав. С развитием биоинженерии и биотехнологии появляется все больше различных добавок, консервантов, ферментов, усилителей вкуса и других компонентов, входящих в состав корма, которые могут оказывать негативное влияние на желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) собак [1].

Кормовая база и диетология являются основой для удовлетворения биологических потребностей организма животного. Важность данной проблемы обусловлена в первую очередь тем, что неправильно подобранный рацион для собак вызывает серьезные заболевания пищеварительной системы. Такие болезни, как гастрит, перитонит, колит, гастроэнтерит и гастроэнтероколит составляют наибольшую часть внутренних заболеваний (около 30 %) [1]. Диетическое или лечебное кормление собак является неотъемлемым методом комплексной терапии, а в некоторых случаях может быть единственным методом лечения заболеваний ЖКТ [2]. У собак с заболеваниями органов пищеварения часто может быть извращен аппетит, поэтому необходимо разбираться в компонентах, составляющих корм, изучать их пищевую и биологическую ценность, а также понимать, какие аллергены могут вызывать нарушения пищеварительной системы.

Наиболее распространенными пищевыми аллергенами для собак являются говядина, молочные продукты, курица, пшеница, в меньшей степени – соя, ягненок, кукуруза, яйцо, свинина, рыбы и рис [3-5]. Специфические пищевые аллергены, выявленные у собак, включают куриный сывороточный альбумин, бычий (коровье молоко, говядина), овечий (баранина), мышечную фосфоглюкомутазу (говядина, баранина, ягнятина) и белки сои [6, 7].

До настоящего времени триггеры нежелательных пищевых реакций у собак остаются неустановленными. Однако, среди потенциальных факторов риска можно выделить специфические компоненты рациона или отдельные кормовые ингредиенты, белки с низкой биодоступностью, патологические состояния организма, увеличивающие проницаемость слизистой оболочки кишечника, избирательный дефицит иммуноглобулина А (IgA), молодой возраст (до четырех лет). Генетические особенности также играют значительную роль в предрасположенности к аллергическим заболеваниям у определённых пород собак и кошек [4, 8].

Аллергические реакции у домашних животных развиваются вследствие гиперчувствительности иммунной системы, чаще всего по I типу [9]. В патогенезе аллергии ключевую роль играет взаимодействие аллергена с иммуноглобулином Е (Immunoglobulin E – IgE), который связывается с рецепторами на поверхности тучных клеток и базофилов [4].

Гипотеза наших исследований заключается в том, что корма, относящиеся к диетическим или лечебным линейкам, имеют более безопасный состав, однако потенциальные аллергены, содержащиеся даже в специализированных кормах, способны привести к заболеваниям ЖКТ у предрасположенных к аллергическим реакциям собак.

Цель исследований – изучение состава коммерческих кормов для собак с чувствительным пищеварением с целью выявления потенциальных аллергенов, оценка их аллергенного потенциала с использованием биоинформатических методов.

Материалы и методы. Объектом исследования послужили составы трех сухих промышленных кормов для собак с чувствительным пищеварением разных ценовых категорий:

1. Brit Premium Sensitive (эконом-класс).
2. Royal Canin Maxi Digestive Care (премиум-класс).
3. Ownat Adult Care digestive (супер-премиум класс).

Анализ потенциально аллергенных белковых компонентов проводился с использованием следующих биоинформатических баз данных и программных инструментов:

- UniProt (Universal Protein Resource): использовалась для поиска аминокислотных последовательностей белков-аллергенов, их идентификаторов (ID) и функциональных аннотаций.
- Allergome: применялась для подтверждения аллергенности белков и получения информации о клинических проявлениях аллергии, в том числе у собак (Canis familiaris).
- AllerTOP v. 2.0: онлайн-сервис для предсказания аллергенности белков на основе их аминокислотной последовательности.
- InterPro: база данных для классификации белков по семействам, доменам и сайтам, использовалась для определения принадлежности исследуемых белков к известным семействам аллергенов (например, проламинам).
- BLAST (Basic Local Alignment Search Tool): инструмент в базе данных NCBI (National Center for Biotechnology Information) для поиска гомологичных последовательностей, что позволяет оценить потенциальную кросс-реактивность между белками из разных источников.
- BepiPred 3.0: сервис для предсказания линейных B-клеточных эпитопов – участков белка, которые могут распознаваться антителами и вызывать иммунный ответ. Порог (Threshold) для определения эпитопов был установлен на уровне 0.2 для повышения надежности предсказания.

Для каждого выявленного потенциального аллергена (ячмень, кукуруза, соя, курица) был идентифицирован основной белок-аллерген, получена его аминокислотная последовательность в формате FASTA, которая затем последовательно анализировалась с помощью вышеуказанных инструментов.

Результаты и обсуждение. В ходе исследований был проведен детальный анализ составов трех кормов для собак с чувствительным пищеварением. Главными аллергенами в промышленных кормах часто выступают злаковые (пшеница, ячмень, кукуруза), соя, некоторые виды белка животного происхождения (например, курица), а также молочные продукты и яйца [2].

1. Анализ состава корма Brit Premium Sensitive (эконом-класс).

В состав корма входит дегидрированное мясо (32 %, в том числе лосось, индейка), ячмень, рис, маис цельнозерновой, жир куриный, клетчатка свекловичная, маисовый протеин и др. Потенциальными аллергенами в данном составе являются ячмень, маис цельнозерновой, маисовый протеин и куриный жир.

Ячмень содержит глютеновый белок гордеин, относящийся к проламинам. Для анализа был выбран белок Gamma-hordein-3 (UniProt ID: P80198). Сервис AllerTOP подтвердил его вероятную аллергенность.

Поиск гомологов с помощью BLAST показал высокую схожесть с белками яровой пшеницы, что указывает на возможную кросс-реактивность. Предсказание эпитопов с помощью BepiPred 3.0 выявило несколько участков с высокой вероятностью иммунного ответа (рисунок 1), что подтверждает высокий аллергенный потенциал данного компонента.

Маис цельнозерновой содержит белки зеины, также относящиеся к проламинам. Был проанализирован белок 16kDa gamma-zein (UniProt ID: P08031). Его масса превышает 10 кДа, что является фактором риска для развития пищевой аллергии. AllerTOP подтвердил его аллергенность.

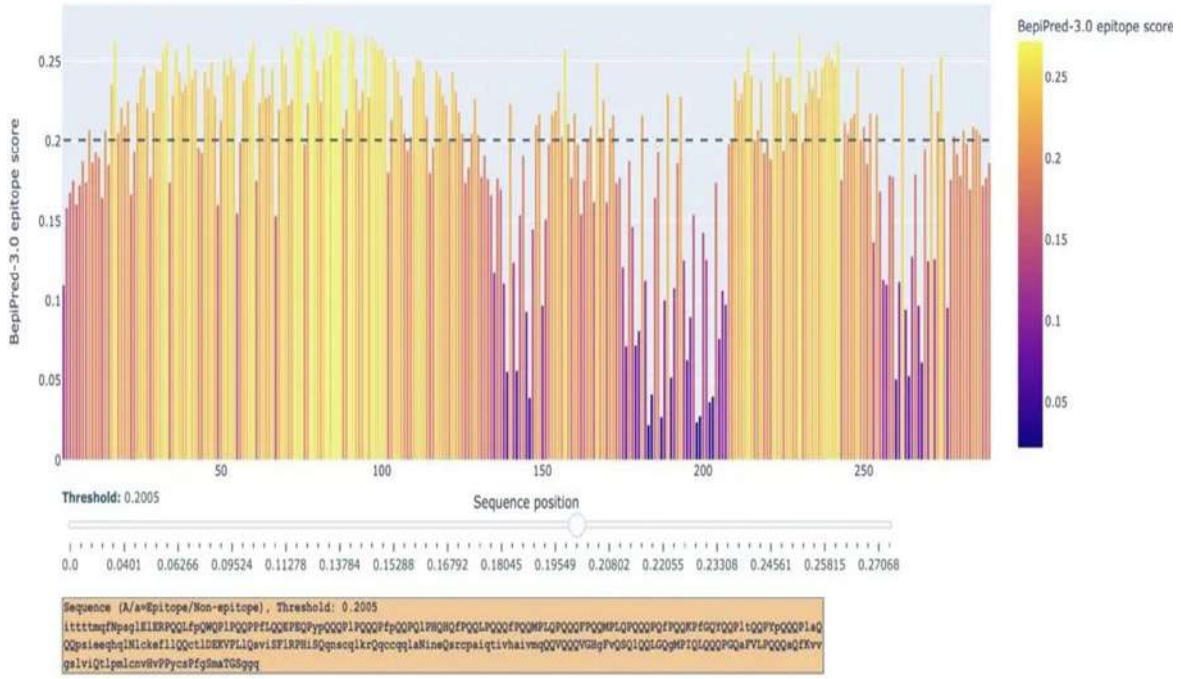


Рисунок 1 – Предсказание линейных В-клеточных эпитопов белка ячменя Gamma-hordein-3 с помощью BepiPred 3.0

Figure 1 – Prediction of linear B-cell epitopes of the Gamma-hordein-3 barley protein using BepiPred 3.0

Анализ в BepiPred 3.0 также выявил потенциальные эпитопные зоны, способные индуцировать иммунный ответ (рисунок 2).

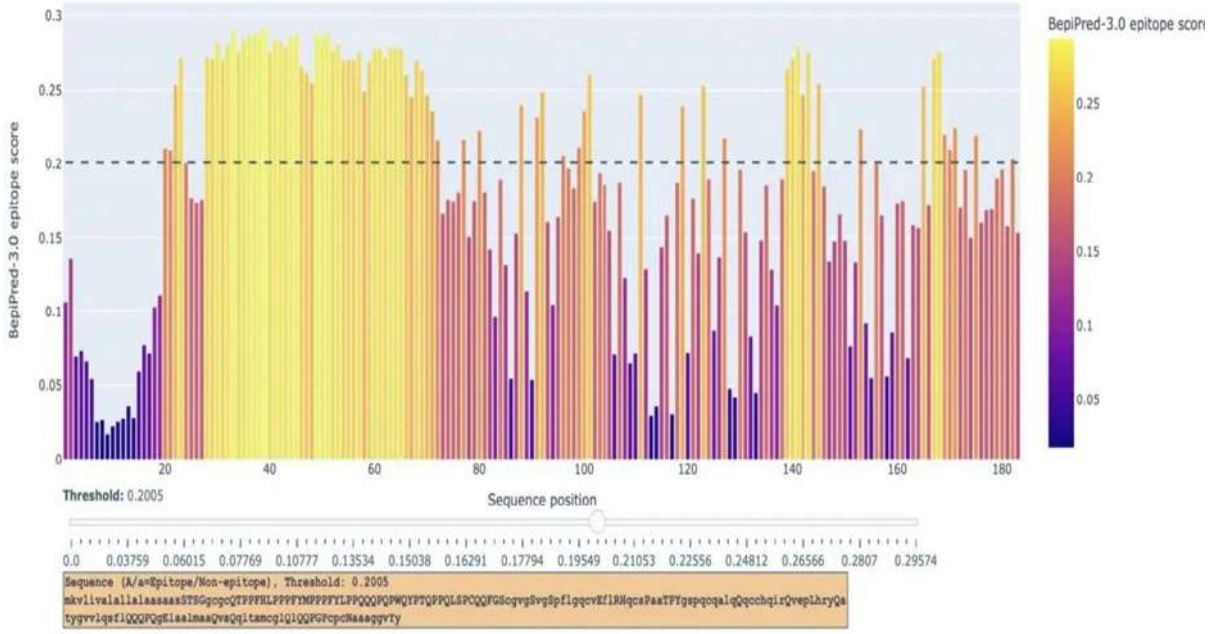


Рисунок 2 – Предсказание линейных В-клеточных эпитопов белка маиса 16kDa Gamma-zein с помощью BepiPred 3.0

Figure 2 – Prediction of linear B-cell epitopes of maize protein 16kDa Gamma-zein using BepiPred 3.0

2. Анализ состава корма Royal Canin Maxi Digestive Care (премиум-класс).

В состав корма входят дегидратированные белки животного происхождения (птица), рис, пшеничная мука, животные жиры, изолят растительных белков, пшеница, ячмень, кукурузная клейковина, гидролизат белков животного происхождения, соевое масло и др.

Данный состав содержит большое количество потенциальных аллергенов: пшеница (наиболее аллергенный злак), ячмень (кросс-реактивность с пшеницей), кукурузная клейковина и изолят растительных белков.

Кукурузная клейковина, в отличие от цельнозернового маиса, является концентратом белка и содержит больше глютена, что повышает риск неблагоприятной реакции. Сравнительная характеристика этих компонентов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика цельнозернового маиса и кукурузной клейковины
Table 1 – Comparative characteristics of whole-grain maize and corn gluten

Критерий / Criterion	Кукурузная клейковина / Corn gluten	Цельнозерновой маис / Whole grain maize
Аллергенность / Allergenicity	Может вызвать аллергию у чувствительных животных / Can cause allergies in sensitive animals	Менее вероятна аллергия, но возможны индивидуальные реакции / Less likely to cause allergies, but individual reactions are possible
Усвояемость / Digestibility	Плохо переваривается, может вызвать воспаление кишечника / Poorly digested, can cause intestinal inflammation	Низкая усвояемость белка, риск образования комков в ЖКТ / Low protein digestibility, risk of lumps in the gastrointestinal tract
Влияние на здоровье / Health effects	Риск диареи, метеоризма / Risk of diarrhea, flatulence	Риск ожирения, диабета, заворота кишок / Risk of obesity, diabetes, and intestinal obstruction

Наличие в составе «изолята растительных белков» без указания их источника является настораживающим фактором, так как изоляты содержат до 90 % белка и могут быть получены из высокоаллергенных растений, например, сои.

Белок сои Glycinin G4 (Gly m 4, UniProt ID: P02858) известен как сильный аллерген, вызывающий кожные и гастроинтестинальные симптомы у собак, что подтверждается данными Allergome. Анализ в AllerTOP и BepiPred 3.0 (рисунок 3) подтверждает высокий аллергенный потенциал соевого белка.

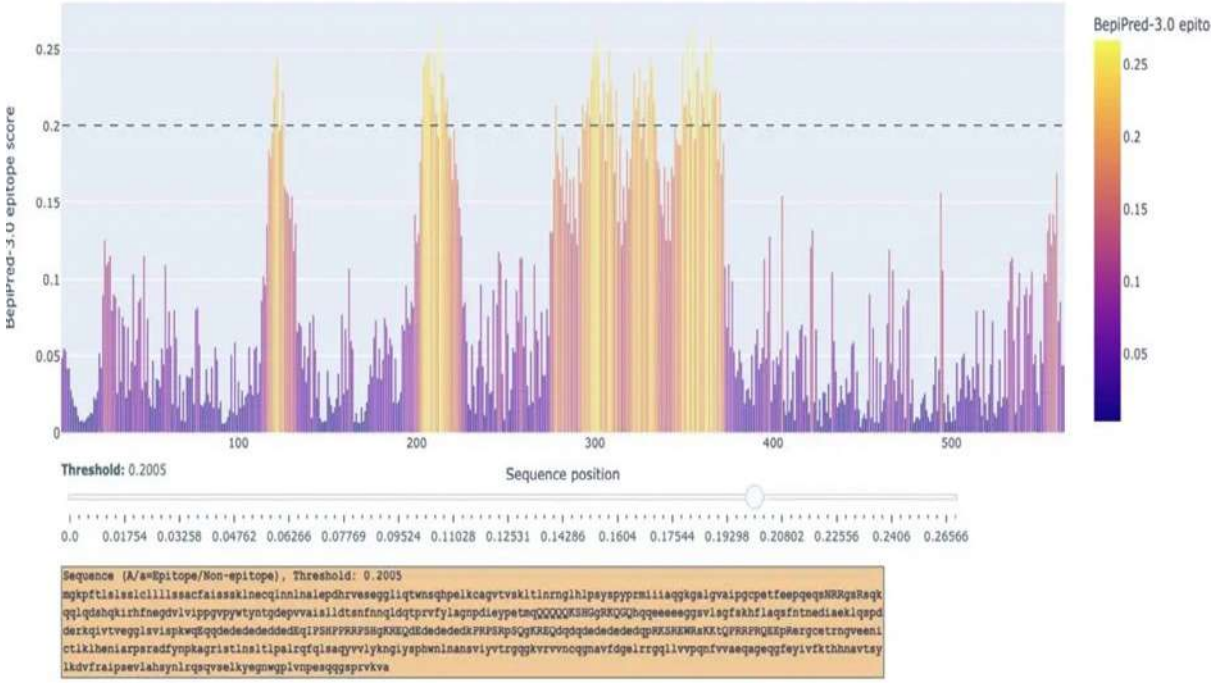


Рисунок 3 – Предсказание линейных B-клеточных эпитопов белка сои Glycinin G4 с помощью BepiPred 3.0
Figure 3 – Prediction of linear B-cell epitopes of soy protein Glycinin G4 using BepiPred 3.0

3. Анализ состава корма Ownat Adult Care digestive (супер-премиум класс).

В состав корма входит свежая курица (мин. 20 %), дегидрированное мясо курицы, цельная кукуруза, цельнозерновой рис (7 %), гидролизованный лосось (6 %), дегидрированная рыба, гидролизованный куриный белок и др. Основным источником животного бел-

ка является курица, которая часто выступает аллергеном. В составе присутствует как дегидрированный, так и гидролизованный белок. Гидролизованный белок имеет значительно более низкий аллергенный потенциал, так как белковые молекулы расщеплены на мелкие пептиды и аминокислоты. Однако наличие дегидрированной курицы сохраняет риск аллергической реакции.

Для анализа был выбран белок куриного мяса – миоглобин (UniProt ID: P02197). Его аллергенность была подтверждена с помощью AllerTOP. Предсказание эпитопов в BepiPred 3.0 (рисунок 4) показало наличие множества потенциально иммуногенных участков по всей длине белковой цепи, что свидетельствует о высоком уровне аллергенности белка куриного яйца.

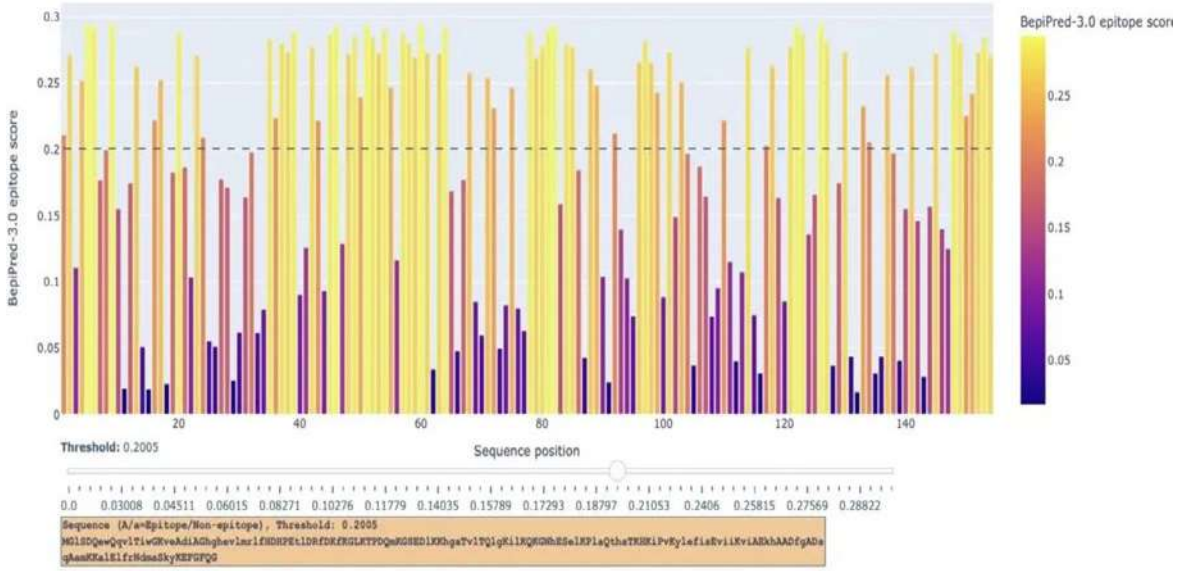


Рисунок 4 – Предсказание линейных В-клеточных эпитопов белка курицы (миоглобин) с помощью BepiPred 3.0
Figure 4 – Prediction of linear B-cell epitopes of chicken protein (myoglobin) using BepiPred 3.0

Сравнительный анализ компонентов в исследуемых кормах, которые могут вызвать нежелательные последствия в виде пищевой аллергии у собак, представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Компоненты в исследуемых кормах, которые могут вызвать неблагоприятную пищевую реакцию у собак с чувствительным пищеварением
Table 2 – Components in the studied feeds that can cause an unfavorable food reaction in dogs with sensitive digestion

Название корма / Feed Name	Потенциально аллергенные компоненты / Potentially allergenic components
Brit Premium Sensitive	Ячмень, маис цельнозерновой, маисовый протеин / Barley, whole grain maize, maize protein
Royal Canin Maxi Digestive Care	Пшеничная мука, изолят растительных белков, пшеница, ячмень, кукурузная клейковина / Wheat flour, vegetable protein isolate, wheat, barley, corn gluten
Ownat Adult Care digestive	Цельная кукуруза, дегидрированное мясо курицы / Whole corn, dehydrated chicken meat

В результате проведенных исследований установлено, что даже корма, специально разработанные для собак с чувствительным пищеварением, могут содержать ингредиенты с доказанным аллергенным потенциалом, что ставит под сомнение гипотезу о том, что диетические линейки всегда имеют более безопасный состав.

Присутствие злаковых, таких как ячмень, кукуруза и особенно пшеница, является значительным фактором риска. Белки этих растений (гордеин, зеин, глиадин) относятся к суперсемейству проламинов, которые обладают высокой устойчивостью к ферментам ЖКТ и термической обработке, что затрудняет снижение их аллергенности в процессе производства корма [10].

Сравнение трех кормов выявило существенные различия в подходах производителей. Корм эконом-класса Brit Premium Sensitive использует в качестве основы дегидрированное мясо лосося или индейки, что является положительным фактором (монопротеиновая формула), однако наличие нескольких злаковых компонентов снижает его гипоаллергенность.

Корм премиум-класса Royal Canin Maxi Digestive Care показал наихудший результат с точки зрения количества потенциальных аллергенов. Наличие пшеницы, ячменя, кукурузной клейковины и неопределенного «изолята растительных белков» создает высокий риск развития неблагоприятной пищевой реакции. Это особенно критично для корма, позиционируемого как "Digestive Care".

Корм супер-премиум класса Ownat Adult Care digestive, несмотря на более высокую рыночную стоимость, также не лишен недостатков. Несмотря на то, что корм содержит гидролизованные белки лосося и курицы, что значительно снижает риск аллергических реакций у собак, основным компонентом остается дегидрированная курица – известный аллерген. Биоинформатический анализ миоглобина курицы подтверждает его высокий аллергенный потенциал. Таким образом, наличие гидролизатов является преимуществом, но не гарантирует полной безопасности при сохранении в составе цельных аллергенных белков.

Результаты наших исследований подчеркивают важность не только класса корма, но и его конкретного состава. Владельцам собак с чувствительным пищеварением следует обращать внимание на наличие гидролизованных белков и отсутствие или минимальное содержание злаковых компонентов, особенно пшеницы.

Биоинформатические методы являются мощным инструментом для предварительной оценки аллергенности компонентов, что может быть использовано как производителями для разработки более безопасных рецептур, так и ветеринарными специалистами для подбора диеты.

Заключение. На основании анализа полученных данных можно сделать вывод, что промышленные корма, маркированные как предназначенные для собак с чувствительным пищеварением, не всегда являются полностью гипоаллергенными. Все три исследованных корма (Brit Premium Sensitive, Royal Canin Maxi Digestive Care, Ownat Adult Care digestive) содержат компоненты (в основном злаковые и куриный белок), которые, по данным биоинформатического анализа, обладают высоким аллергенным потенциалом. Наибольшее количество потенциально нежелательных ингредиентов было обнаружено в корме премиум-класса Royal Canin Maxi Digestive Care.

Гипотеза о том, что диетические линейки кормов имеют более безопасный состав, подтвердилась лишь частично. Хотя некоторые производители (например, Ownat) используют технологии гидролиза для снижения аллергенности белков, наличие в составе цельных белков-аллергенов и злаков сохраняет риск развития неблагоприятных пищевых реакций. Таким образом, для подбора оптимального рациона для собак с чувствительным ЖКТ необходим тщательный индивидуальный подход и внимательное изучение состава каждого конкретного продукта, а не только ориентация на маркетинговые заявления производителя.

Conclusions. Based on the analysis of the data obtained, it can be concluded that industrial feeds labeled as intended for dogs with sensitive food are not always completely hypoallergenic. All three studied feeds (Brit Premium Sensitive, Royal Canin Maxi Digestive Care, Ownat Adult Care digestive) contain components (mainly cereals and chicken protein), which, according to bioinformatics analysis, have a high allergenic potential. The largest number of potentially undesirable ingredients was found in the Royal Canin Maxi Digestive Care premium food.

The hypothesis that dietary feed lines have a safer composition has only partially been confirmed. Although some manufacturers (for example, Ownat) use hydrolysis technologies to reduce the allergenicity of proteins, the presence of allergenic whole proteins and cereals in the composition retains the risk of developing unfavorable food reactions. Thus, to select the optimal diet for dogs with a sensitive gastrointestinal tract, a careful individual approach and careful study of the composition of each specific product are necessary, rather than focusing solely on the manufacturer's marketing statements.

Библиографический список

1. Шаганова Е. С., Лущай Ю. С. Диетическое кормление при патологиях у собак. Санкт-Петербург: Лань, 2024. 116 с.
2. Хохрин С. Н., Рожков К. А., Лунегова И. В. Кормление собак. Санкт-Петербург: Лань, 2025. 272 с.
3. The Science Behind Allergy Risk Scores. Embark. https://embarkvet.com/resources/allergy-risk-scores
4. Немцева Ю. С. Факторы, влияющие на развитие аллергических реакций у домашних животных и методы их контроля. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2024. № 9-3 (96). С. 58-63.
5. Dávila I., Domínguez-Ortega J., Navarro-Pulido A., Alonso A., Antolín-Amerigo D., González-Mancebo E., Martín-García C., Núñez-Acevedo B., Prior N., Reche M., Rosado A., Ruiz-Hornillos J., Sánchez M.C., Torrecillas M. Consensus document on dog and cat allergy. Allergy. 2018. V. 73. № 6. Pp. 1206-1222.

6. Селиванова И. Р. Биологические основы кормления кошек и собак. Universum: химия и биология: электронный научный журнал. 2024. № 2 (116).
7. Селиванова И. Р. Диетотерапия при кормовой аллергии у собак и кошек. Universum: химия и биология: электронный научный журнал. 2024. № 4 (118).
8. Marsella R. Atopic Dermatitis in Domestic Animals: What Our Current Understanding Is and How This Applies to Clinical Practice. Vet Sci. 2021. V. 8. No 7. Art. 124.
9. Jackson H. A. Food allergy in dogs and cats; current perspectives on etiology, diagnosis, and management. J Am Vet Med Assoc. 2023. V. 261. № 1. Pp. S23-S29.
10. Колеснов Е. А. и др. Пищевые аллергены и способы получения гипоаллергенных пищевых продуктов. Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 80-85.

References

1. Shaganova E. S., Luschai Yu. S. Dietary feeding in dogs with pathologies. Saint Petersburg: Lan Publ., 2024. 116 p.
2. Khokhrin S. N., Rozhkov K. A., Lunegova I. V. Dog feeding. Saint Petersburg: Lan Publ., 2025. 272 p.
3. The Science Behind Allergy Risk Scores. Embark. https://embarkvet.com/resources/allergy-risk-scores
4. Nemtseva Yu. S. Factors influencing the development of allergic reactions in domestic animals and methods of their control. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2024. No 9-3 (96). Pp. 58-63.
5. Dávila I., Domínguez-Ortega J., Navarro-Pulido A., Alonso A., Antolín-Amerigo D., González-Mancebo E., Martín-García C., Núñez-Acevedo B., Prior N., Reche M., Rosado A., Ruiz-Hornillos J., Sánchez M.C., Torrecillas M. Consensus document on dog and cat allergy. Allergy. 2018. V. 73. No. 6. Pp. 1206-1222.
6. Selivanova I. R. Biological principles of feeding cats and dogs. Universum: Chemistry and Biology: electronic scientific journal. 2024. No 2 (116).
7. Selivanova I. R. Diet therapy for food allergies in dogs and cats. Universum: chemistry and biology: electronic scientific journal. 2024. No 4 (118).
8. Marsella R. Atopic Dermatitis in Domestic Animals: What Our Current Under-standing Is and How This Applies to Clinical Practice. Vet Sci. 2021. Vol. 8. № 7. Art. 124.
9. Jackson H. A. Food allergy in dogs and cats; current perspectives on etiology, diag-nosis, and management. J Am Vet Med Assoc. 2023. V. 261. No 1. Pp. S23-S29.
10. Kolesnov E. A. et al. Food allergens and methods of obtaining hypoallergenic food products. Food industry. 2019. No 4. Pp. 80-85.

Информация об авторах

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

Венецианский Алексей Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры, Волгоградский государственный университет (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3676-100X, e-mail: alven79@mail.ru

Улыбина Анна Романовна, студент, Волгоградский государственный университет (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100), e-mail: ulybina.ar@volsu.ru

Authors' Information

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

Venetsiansky Aleksey Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State University (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 100), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3676-100X, e-mail: alven79@mail.ru

Ulybina Anna Romanovna, student, Volgograd State University, (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 100), e-mail: ulybina.ar@volsu.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-37

THE SALSK SHEEP BREED INTRA- AND INTERLINEAR SELECTION

[1]Kolosov Yu. A., [3]Gorlov I. F., [3]Slozhenkina M. I., [2]Aboneev V. V., [2]Kulikova A. Ya., [1]Kolosova N. N.

[1]Don State Agrarian University
Rostov Region, Russian Federation
[2]Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine
Krasnodar, Russian Federation
[3]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author: E-mail: niimmp@mail.ru

Received 03.04.2026 Submitted 19.05.2026

The work was carried out under a grant from the Russian Science Foundation 22-16-41-P, GNU NIIMMP.

Abstract

Introduction. The effectiveness of breeding work in Russian sheep breeding is largely determined by the skillful choice of breeding methods in the breeding and commodity sectors of the industry. In breeding sheep, according to the requirements of the Federal Law "On Breeding Livestock", the only legitimate

method is purebred breeding. With a skillful approach to using this method, it is possible to achieve the desired results and obtain a successful combination of genotypes to achieve the planned goals. An example of the practical use of this approach in breeding is given in our publication. **Object**. The research was carried out in a herd of Salsk sheep of the breeding plant "Belozernoye" in the Rostov region. **Materials and methods**. The research was conducted by comparing the results of different types of selection: intra- and inter-line. For this purpose, animals belonging to 510 and 585 lines were used. In the course of the experiment, to compare the effectiveness of intra- and inter-line selection, such characteristics as reproductive properties, live weight of young animals, wool productivity were taken into account, which were ultimately considered from the perspective of economic efficiency. **Results and conclusions**. As our experimental studies have shown, cross-line sheep, obtained by combining the heredity of 510 and 585 lines, when recrossed with sheep-producers of the original lines, demonstrated a fairly high breeding effect. It is established that the tactics of breeding will depend on the tasks that arise at a particular stage of the breeding process. To increase production efficiency, it is possible to use both crosses of existing lines and returnable mating options for cross-breeding sheep, obtained earlier and used to repair breeding stock.

Keywords: *sheep breeding, sheep selection, in-line selection, cross-selection, sheep productivity, the sheep farming economic efficiency.*

Citation. Kolosov Yu. A., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Aboneev V. V., Kulikova A. Ya., Kolosova N. N. The Salsk sheep breed intra- and interlinear selection. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 335-344 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-37.
The authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution, or analysis of this scientific study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.
Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 636.32/38(470.61):637.5.63

ВНУТРИ- И МЕЖЛИНЕЙНЫЙ ПОДБОР В САЛЬСКОЙ ПОРОДЕ ОВЕЦ

[1]**Колосов Ю. А.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]**Горлов И. Ф.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
[3]**Сложенкина М. И.,** *доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН*
[2]**Абонеев В. В.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН*
[2]**Куликова А. Я.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]**Колосова Н. Н.,** *кандидат философских наук, доцент*

[1]ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
пос. Персиановский, Октябрьский район, Ростовская область, Российская Федерация
[2]ФГБНУ Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии
г. Краснодар, Российская Федерация
[3] ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена по гранту РНФ 22-16-41-П, ГНУ НИИММП.

Актуальность. Результативность селекционной работы в российском овцеводстве в значительной степени определяется умелым выбором методов разведения в племенном и товарном секторах отрасли. В племенном овцеводстве, согласно требованиям ФЗ «О племенном животноводстве», единственно легитимным является метод чистопородного разведения. При умелом подходе к использованию данного метода можно достигнуть желательных результатов и получить успешную комбинацию генотипов для достижения запланированных целей. Пример использования на практике такого подхода в селекции приводится в нашей публикации. **Объект.** Исследования проведены в стаде сальской породы овец племенного завода «Белозёрное» Ростовской области. **Материал и методы.** Исследования были проведены посредством сравнения результатов различных видов подбора: внутри- и межлинейного. Для этого были использованы животные, относящиеся к 510 и 585 линиям. В ходе эксперимента для сравнения результативности внутри- и межлинейного подбора принимались во внимание такие признаки как воспроизводительные свойства, живая масса молодняка, шерстная продуктивность, которые в конечном итоге рассматривались с позиции экономической эффективности. **Результаты и выводы.** Как показали экспериментальные исследования, кросслинейные овцематки, полученные путем объединения наследственности 510 и 585 линий, при возвратном скрещивании с баранами-производителями исходных линий, демонстрировали достаточно высокий селекционный эффект. Установлено, что тактика селекции будет зависеть от задач, встающих на конкретном этапе селекционного процесса. Для увеличения эффективности производства можно использовать как кроссы имеющихся линий, так и возвратные варианты спариваний на помесном поголовье овцематок, полученных ранее и используемых для ремонта маточного поголовья.

Ключевые слова: *племенное овцеводство, селекция овец, внутрилинейный подбор, кросподбор, продуктивность овец, экономическая эффективность овцеводства.*

Цитирование. Колосов Ю. А., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Абонеев В. В., Куликова А. Я., Колосова Н. Н. Внутри- и межлинейный подбор в сальской породе овец. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 335-344. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-37.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного научного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. М. И. Ливанов, Д. А. Кисловский, М. Ф. Иванов, Е. А. Богданов, П. Н. Кулешов, А. С. Серебровский, А. А. Малигонов и другие классики отечественной зоотехнической науки, развивая учение о разведении сельскохозяйственных животных, в том числе считали, что в племенном хозяйстве, в зависимости от размера стада овец, должно быть не менее 4-6 линий с численностью животных 200-300 овцематок [1, 4, 5]. В настоящее время численность многих племенных стад продолжает сокращаться и ранее существовавшие требования, которые не утратили свою актуальность, выдерживать чрезвычайно сложно. Тем не менее, линейное разведение овец, безусловно, является одним из ведущих приемов поддержания генетического разнообразия и возможности для комбинаций наследственных задатков. В пределах популяции это достигается путем проведения межлинейных спариваний и иных приёмов поддержания разнообразия на фоне консолидации коллективного генотипа линии. В стадах племенных тонкорунных овец прибегают к использованию внутри- и кросслинейных видов подбора. Данный приём увеличения продуктивности является следствием проявления эффекта микрогетерозиса на который указывали классики отечественной зоотехнической науки. По мнению А. А. Малигонова, необходимо выводить не отдельные линии, а комплексы сочетающихся на гетерозис линий (две и более – для двойного и многократных кроссов), дающих последовательный возрастающий гетерозис. Селекционируемые на гетерозис линии – это не линии производителей, в том числе и маток, обладающих определённым линейным генотипом и способных к воспроизведению. Эти идеи были развиты академиком М. Ф. Ивановым. В середине 1930-х годов им была создана вертикальная пирамида гибридизации с системой внутрилинейного подбора. М. Ф. Иванов на практике осуществил гибридизацию как скрещивание специализированных линий, направленное на получение эффекта гетерозиса [9-12].

Его реализация возможна только в сочетании с полноценным кормлением, как родительского поколения, так и их потомков [1-5,11].

Основываясь на работах классиков, а также научных исследованиях советских и российских ученых более позднего периода, можно утверждать, что разведение овец по линиям преследует следующие основные цели. Во-первых, направленное получение, генетическая консолидация и более широкое распространение индивидуальных преимуществ выдающихся потомков родоначальников линий. Во-вторых, создание в генетической структуре стада качественно разнородных групп высокоценных в племенном отношении животных. И, в-третьих, оценка и использование сочетающихся линий с целью генерации эффекта гетерозиса при кроссах линий.

На заседании Научно-технического совета Минсельхозпрода Ростовской области 19 июня 2023 года (протокол № 14) было принято решение: «Дать положительную оценку и рекомендовать к внедрению научно-практические рекомендации «Генетическая структура стада овец сальской породы, характеристика линий и возможности их использования для совершенствования мериносового овцеводства Ростовской области» утвердить статус заводских линий №№ 510, 585 и 44.». Таким образом, хотя заводские линии согласно Закону ФЗ РФ «О племенном животноводстве» не относятся к категории селекционных достижений, на региональном уровне этот статус был зафиксирован, и дальнейшая селекционная программа в рамках работы с сальской породой продолжалась с учетом данного факта [6]. Вновь утверждённые на НТС линии характеризовались следующими продуктивными качествами (таблица 1).

Таблица 1 – Удельный вес в структуре группы овцематок племзавода (%) и средние показатели продуктивности овцематок линейной принадлежности
Table 1 – The specific weight in the structure of the sheep breeding group (%) and the average productivity of line sheep

Линия / Line	Уд. вес поголовья, % / The proportion of livestock, %	Живая масса, кг / Live weight, kg	Физический настриг шерсти, кг / Physical shearing of wool, kg	Длина шерсти, см / Wool length, cm
510	27	51,5 ± 0,61	6,29 ± 0,09	8,1 ± 0,32
585	20	50,9 ± 0,57	6,40 ± 0,07	8,4 ± 0,27

Цель исследования состояла в оценке возможности дальнейшего повышения продуктивных качеств овец сальской породы на основе межлинейного кроссинга. Для реализации этой цели решались **задачи:** оценка плодовитости, динамики живой массы и шерстной продуктивности полученного молодняка. На завершающем этапе была определена экономическая оценка полученных генотипов.

Методика исследований. Экспериментальная часть проводимых нами научных исследований, выполнялась в период 2023-2026 гг. в племенном заводе по сальской породе овец «Белозёрное» Ростовской области. Климат на территории племенного завода резко континентальный. Господствующие ветры – восточные и северо-восточные. В зимний период времени температура воздуха опускается ниже -20 °С. По многолетним наблюдениям в среднем за год выпадает 350-370 мм осадков. Особо засушливыми были годы проведения эксперимента.

Схема формирования подопытных групп и изучаемые в эксперименте показатели приведены на рисунке 1.

Внутрилинейный подбор / In-linear selection	Виды подбора / Types of selection	Межлинейный подбор / Interlinear selection

1 группа линия 510 / Group 1, line 510 ♂ 510 + ♀510	2 группа линия 585 / Group 2, line 585 ♂585 +♀ 585	3 группа ♂ 510 + ♀510 x 585 / Group 3 ♂ 510 + ♀510 x 585	4 группа ♂585 **+**♀ 585 x 510 / Group 4 ♂585 +♀ 585 x 510

Изучаемые показатели / Indicators are studied

Характеристика воспроизводительных свойств / Reproductive properties characteristics		Динамика живой массы / Live weight dynamics		Уровень шерстной продуктивности / The level of wool productivity		Экономическая оценка проекта / Economic assessment of the project

З А К Л Ю Ч Е Н И Е / C O N C L U S I O N

Рисунок 1 – Дизайн научного эксперимента
Figure 1 – The scientific experiment design

Были сформированы четыре подопытные группы овцематок сальской породы численностью от 39 до 42 голов, относящиеся к указанным в дизайне научного эксперимента линиям и их комбинациям. В 1 и 2 группах использовали овцематок и баранов одинаковых генотипов. В 3 группе овцематок, полученных на основе спаривания баранов 510 линии и овцематок 585 линии, осеменяли спермой баранов линии 510. В 4 группе овцематок, полученных от спаривания баранов 585 линии и овцематок линии 510, спаривали с баранами линии 585. В группы овцематок были отобраны животные с потенциалом первого и второго окота, с некоторым преобладанием первокоток. Осеменение овцематок проводили в июле-августе. Система содержания овец, в том числе и подопытных овцематок, в племенном заводе пастбищно-стойловая. Продолжительность пастбищного содержания составила 208 дней. Отъём ягнят от матерей проводили в возрасте 2,5-3 месяцев. В течение проведения научно-производственного опыта все животные содержались в одних и тех же условиях кормления и содержания, согласующихся с зоотехническими нормативами.

В процессе научно-хозяйственного эксперимента были выполнены следующие зоотехнические и исследовательские работы:

- отбор и формирование подопытных групп маточного поголовья;
- отбор баранов-производителей, соответствующих задачам эксперимента;
- проведение и учет искусственного осеменения маток;
- мечение и учет ягнят при рождении, организация кормления и содержания молодняка;
- взвешивание подопытных животных при рождении с точностью до 100 г, в 2, 4, 8, 12 месяцев с точностью до 0,5 кг;
- индивидуальный учет настрига шерсти, отбор образцов шерсти для определения выхода чистой шерсти;
- расчет экономической эффективности различных комбинаций генотипов.

Плодовитость маток оценивали по количеству ягнят в расчете на 100 объягнившихся овцематок. Жизнеспособность устанавливали путем учета сохранившихся ягнят на момент отъёма ягнят от овцематок. Живая масса молодняка определялась путем индивидуального взвешивания при рождении с точностью до 100 граммов, а в более старшем возрасте – с точностью до 0,5 кг. Шерстная продуктивность оценивалась индивидуально у каждого подопытного животного во время стрижки с точностью до 0,1 кг. Выход мытого волокна определяли по методике ВНИИОК путем отбора и промывки образцов от каждой подопытной ярки. Настриг шерсти в мытом волокне устанавливали расчетным методом на основании лабораторного определения выхода мытого волокна. Экономическая эффективность разведения животных различных генотипов определяли посредством учета затрат на их содержание и произведенной продукции. Для оценки уровня достоверности полученных результатов осуществлялась математико-статистическая обработка цифровых материалов, посредством использования алгоритмов, разработанных Н. А. Плохинским [цитируется по 7].

Результаты исследований. Как было отмечено в ходе оценки состояния стада племенного завода экспертной комиссией МСХиП Ростовской области, наиболее ценными продолжателями линий на текущем этапе селекционного процесса признаны бараны № 13 и № 120 из числа особей, принадлежащих линии 510, № 19 и № 1301 – линии 585 и № 17 и 194 – линии барана 44.

В наших исследованиях оценке были подвергнуты овцы линий 510 и 585 как наиболее консолидированные с генетической позиции, а поэтому более перспективные для получения эффекта гетерозиса. Первая часть исследований посвящена оценке воспроизводительных способностей животных при закладке комбинированных генотипов потомков. В процессе анализа результатов осеменения, ягнения и подсосного выращивания ягнят была установлена следующая картина (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели воспроизводства овец сальской породы при различных вариантах подбора
Table 2 – Reproduction rates of Salsk sheep with different selection options

Показатели / Indicators	Группы / Groups			
	1	2	3	4
Осеменено маток, гол. / Sheep were inseminated	39	40	41	42
Объягнилось маток, гол. / Sheep got pregnant	38	38	39	39
Выбыло маток до начала окота, гол / Sheep dropped out before the start of lambing	1	2	2	3
Количество ягнят на окоте / Number of lambs per lambing	41	41	44	46
Выход ягнят на 100 маток, %/ Output of lambs per 100 queens, % на конец окота / at the end of lambing к отъёму / for weaning	107,8 105,3	107,9 107,9	112,8 110,3	117,9 115,4

В 1-й и 2-й группах линейных овцематок на конец окота были зафиксированы одинаковые показатели получения ягнят – около 108 голов на 100 овцематок. Такой невысокий уровень плодовитости объясняется тем, что среди овцематок преобладали матки-первокотки, которые объягнились одним ягнёнком. В 3-й и 4-й группах, несмотря на то, что по возрастной структуре они были аналогами 1-й и 2-й групп, плодовитость была выше. Результаты учета показали, что овцематки 3-й группы с генотипом на 75 % состоящим из наследственных качеств линии 510, превосходили результаты окота в первой группе на 5 % и на 2,4 абсолютных % – во 2-й группе. Превосходство 4-й группы над 1-й и 2-й группами было еще большим: 10,1 и 7,5 % соответственно. Превосходство 4-й группы по анализируемым показателям было высоко достоверным. В результате кроссирования линий удалось повысить сохранность ягнят, что характеризует данный метод чистопородного разведения, как повышающий эффективность отрасли в целом.

Дальнейшие исследования были посвящены изучению особенностей роста ярок в постэмбриональный период жизни. Для этого подопытных животных индивидуально взвешивали в возрасте, установленном методикой исследований (таблица 3). При рождении средняя живая масса новорожденных ягнят всех подопытных групп отличалась незначи-

тельно и варьировала в пределах 4,2-4,7 кг, находясь в рамках 7-9 % от живой массы их матерей. Данный факт согласуется с биологическими особенностями вида, установленными в многочисленных исследованиях [2, 3, 8, 9].

Следующим контролируемым возрастом при оценке роста ягнят являются 4 месяца. Это возраст традиционного срока отъема ягнят от овцематок и формирование их в самостоятельные отары. В наших исследованиях отъём ягнят от маток проводился в соответствии с технологией, используемой в хозяйстве, т. е. в более ранние сроки. Однако взвешивание подопытных животных проводили в возрасте 4 месяцев. Данный возраст позволяет иметь широкую базу для сравнения молодняка разных пород между собой, созданную на основе многочисленных публикаций отечественных и зарубежных исследователей и соответствует требованиям нормативных документов. Согласно действующего Приказа МСХ РФ № 860 от 21 декабря 2021 г., требования к живой массе для ярок тонкорунных пород в возрасте 4 месяцев класса элита составляют 23 кг и более. Оценка подопытных животных позволила зафиксировать превышение среднего показателя указанного норматива для ярок 1-й группы на 11,6 %, 2-ц группы – на 9,5 %, 3-й группы – на 11,8 % и 4-й группы – на 11,4 %. Таким образом, мы зафиксировали, что максимальное превосходство требований к классу элита установлено по 3-й группе, а минимальное – по 2-й группе. Ярки 1-й, 2-й и 4-й подопытных групп в 4-месячном возрасте по живой массе различались незначительно.

Таблица 3 – Показатели живой массы ярок сальской породы при различных вариантах подбора
Table 3 – Indicators of the live weight of the bright Salsk breed for various selection options

Возраст, мес./ Age, month	Группы / Groups			
	1	2	3	4
При рождении / At birth	4,46±0,14	4,50±0,12	4,39 ± 0,1	4,63±0,11
2	16,64±0,39	16,29±0,37	17,07±0,41	16,89±0,39
4	26,53±0,52	25,19±0,48	27,23±0,61	26,25±0,69
8	36,09±0,62	35,25±0,58	37,79±0,69	36,93±0,71
12	40,04±0,65	39,55±0,59	41,89±0,70	40,54±0,74

Традиционные сроки первой бонитировки овец по полному бонитировочному ключу приходятся на 12 месяцев. В этом возрасте минимальный норматив по живой массе для ярок сальской породы класса элита составляет 38 кг. В наших исследованиях живая масса у животных подопытных групп варьировала в интервале от 39 до 42,5 кг. Превосходство среднего показателя живой массы минимального уровня для класса элита составило по 1-й группе 5,4 %, по 2-й группе – 4,1 %, по 3-й группе – 10,2 % и по 4-й группе – 6,7 %.

В этом возрасте мы отмечаем превосходство животных 3-й и 4-й групп, полученных от возвратного спаривания полукровных по линиям 510х585 овцематок с производителями: в 3-й группе, относящихся к линии 510, и в 4 группе, относящихся к линии 585. Сравнение ярок-потомков в этих группах между собой указывает на превосходство по живой массе особей 3 группы.

Согласно сложившемуся у ученых и практиков представлению о физиологической зрелости ярок в вопросе вовлечения их в систему воспроизводства, индикатором можно считать живую массу в 41-43 кг. Традиционно такого развития ярки, относящиеся к шерстному направлению в тонкорунном овцеводстве, достигают к 18-месячному возрасту [13]. Как следует из материалов таблицы 2, ярки всех четырёх подопытных групп практически достигли необходимого уровня развития к 12-месячному возрасту. Этот факт безусловно способствует интенсификации производства и требует переосмысления подходов к организации отрасли в части воспроизводства стада.

Шерсть, как источник сырья для легкой промышленности, не исчерпала свой потенциал. Мощная пропагандистская и маркетинговая компания преувеличивающая достоинство изделий с включением значительной доли волокон синтетического (химического) происхождения сыграла очень большую роль в дискредитации изделий из шерсти. Но далеко не секрет, что изделия из синтетики оказывают негативное влияние на здоровье человека. Одежда из синтетики может вызывать нарушение воздухообмена и терморегуляции организма человека. Аллергию могут вызывать не только сами синтетические волокна, но и химические добавки, красители, смолы, клей, дубильные вещества, которые используются при производстве таких текстильных волокон. Особенно уязвимы люди с атопическим дерматитом, экземой, псориазом. В синтетическом текстиле может быть выше концентрация грибка и плесени по сравнению с натуральными волокнами. В жару изделия из синтетической ткани могут привести к перегреву организма вплоть до теплового удара. Некоторые материалы могут выделять под одежду мо-

номеры синтетических волокон или другие токсичные соединения, особенно при взаимодействии с воздухом или водой. В синтетической одежде могут присутствовать вещества, содержащие нефтепродукты, которые при определённых условиях проявляют токсичные и канцерогенные свойства**.** Поэтому **производство шерсти** как одного из главных видов продукции овцеводства, не оказывающее негативного воздействия на организм человека, наверняка будет реабилитировано и получит свое дальнейшее развитие.

По этой причине следующим этапом наших исследований стала оценка шерстной продуктивности овец, полученных в результате кросса линий 510 и 585. Учет был произведён по всем яркам в 14-месячном возрасте, сохранившимся в подопытных группах (таблица 4).

Таблица 4 –Шерстная продуктивность ярок сальской породы в подопытных группах
Table 4 –Wool productivity of the bright Salsk breed in experimental groups

Показатели / Indicators	Группы / Groups			
	1	2	3	4
Острижено ярок, гол. / Shorn sheep	19	22	24	24
Настриг немытой шерсти, кг / Unwashed wool shearing, kg	4,78±0,07	4,94±0,09	5,06±0,10	5,28±011
Выход мытой шерсти, % / The output of washed wool, %	54,6	56,8	55,4	56,9
Настриг шерсти в мытом волокне, кг / Shearing of wool in washed fiber, kg	2.61±0,04	2,81±0,05	2,80±0,04	3,0 ± 0,06

По настригу немытой шерсти линейные ярки первой и второй групп уступали своим кроссированным сверстницам. Так, ярки 1-й группы имели настриг на 5,9 % меньше, чем ярки 3-й группы и на 10,5 %, чем ярки 4-й группы. Разница в обоих случаях имела достоверный характер.

Различия в выходе мытой шерсти между группами были менее значимыми и не превышали 1 %. И только ярки первой группы по этому свойству шерсти уступали своим сверстницам из других групп. Разница со средним значением этого признака с животными 4-й группы превышала 2 %.

Молодняк первой группы уступал остальным животным, принимавшим участие в эксперименте, и по настригу шерсти в мытом волокне. Ярки 1-й группы уступали животным 2-й и 3-й групп более 7 %, а 4-й группе – около 15 %.

Таким образом, мы отметили факт того, что кроссирование линий овец сальской породы положительно сказалось на повышении настрига шерсти.

Овцеводство в нашей стране переживает сложные времена. После развала отрасли в конце прошлого века на какое-то время наступил ренессанс, когда численность овец в РФ с 14,5 млн возросло почти на 60 %. Однако новые вызовы и попытка реанимирования отрасли по старым лекалам успеха не принесли и вновь последовал значительный спад в производстве продукции овцеводства. Цель любого прикладного научного исследования состоит в поиске путей повышения объёмов производства. Поэтому одной из главных задач нашего эксперимента являлась оценка использования такого инструмента, как межлинейное спаривание, для повышения эффективности отрасли. Экономическая оценка результатов приводится в таблице 5.

Таблица 5 – Экономическая оценка различных вариантов подбора
Table 5 – Economic assessment of various selection options

Показатели / Indicators	Группы / Groups			
	1	2	3	4
Живая масса ярок, кг / Live weight of sheep, kg	40,04±0,65	39,55±0,59	41,89±0,70	40,54±0,74
Настриг мытой шерсти, кг/ Shearing of washed wool, kg	2.61±0,04	2,81±0,05	2,80±0,04	3,0 ± 0,06
Общая стоимость живой массы и настрига, руб. / The total cost of live weight and haircut, rub.	9966,1	9911,4	10446,7	10194,2
Затраты на выращивание, руб. / The cost of raising sheep, RUB	8350	8350	8350	8350
Прибыль/убыток, руб. / Profit/loss, RUB	+1616,1	+1561,4	+2096,7	+1844,2
Уровень рентабельности, % / Profitability level, %	19,4	18,7	25,1	22,08

Общая стоимость живой массы и настрига мытой шерсти у линейных овец подопытных групп в 12-месячном возрасте приближалась к десяти тысячам рублей, а у кросслинейных овец она превышала это уровень. В своих расчетах мы исходили из реализационной стоимости произведенной продукции: живая масса – 230 руб./кг и мытая шерсть (в перерасчете) – 290 руб./кг. Исходя из сложившихся в хозяйстве затрат на выращивание ярок до 12-месячного возраста в среднем на одну голову 8350 руб., нами был установлен уровень прибыли в подопытных группах. Как следует из данных таблицы 5, уровень рентабельности самым высоким оказался в 3-й группе ярок, наследственность которых на 75 % была представлена линией 510. Достаточно эффективным оказался и вариант генотипа 4-й группы кросслинейных овец. При этом мы абстрагировались от показателей сохранности молодняка, которые также были выше в 3-й и 4-й группах.

Заключение. Как показали наши экспериментальные исследования кросслинейные овцематки, полученные путем объединения наследственности 510 и 585 линий, при возвратном скрещивании с баранами-производителями исходных линий, демонстрировали достаточно высокий селекционный эффект. Плодовитость в 3-м и 4-м вариантах групп оказалась на 5-10 % выше, чем у аналогов из 1-й и 2-й групп. К отъёму различия несколько сократились, но преимущество по-прежнему имели группы возвратного спаривания.

Потомство 3-й и 4-й групп на последующих этапах сравнения имело свои особенности, обусловленные, на наш взгляд, принадлежностью к определенным линиям. Так по живой массе выраженное преимущество имели ярки 3-й группы. Они превосходили как сверстниц 1-й и 2-й групп, так и аналогов из 4-й группы. Превосходство над последними оценено в 3,3 % и является недостоверным. Превосходство над сверстницами 1-й и 2-й групп оказалось достоверным.

По настригу мытой шерсти лидерами оказались ярки 4-й группы. Их превосходство над сверстницами 1-й, 2-й и 3-й групп составило 14,9; 6,8; 7,1 % соответственно.

На основании полученных результатов можно сделать заключение о том, что тактика селекции будет зависеть от задач, встающих на конкретном этапе селекционного процесса. Для увеличения эффективности производства можно использовать как кроссы имеющихся линий, так и возвратные варианты спариваний на помесном поголовье овцематок, полученных ранее и используемых для ремонта маточного поголовья.

Conclusion. As our experimental studies have shown, cross-line sheep, obtained by combining the heredity of 510 and 585 lines, when recrossed with sheep-producers of the original lines, demonstrated a fairly high breeding effect. Fertility in the 3rd and 4th variants of the groups turned out to be 5-10 % higher than in analogues from groups 1 and 2. By weaning, the differences had decreased somewhat, but the return mating groups still had the advantage.

The offspring of groups 3 and 4 at the subsequent stages of comparison had their own characteristics, due, in our opinion, to belonging to certain lines. Thus, in terms of live weight, 3 groups of sheep had a pronounced advantage. They outperformed both their peers from groups 1 and 2, as well as their counterparts from group 4. The superiority over the latter is estimated at 3.3 % and is not reliable. The superiority over the peers of groups 1 and 2 turned out to be significant.

According to the cut of the washed wool, 4 groups turned out to be bright leaders. Their superiority over their peers in groups 1.2 and 3 was 14.9 %, 6.8 %, and 7.1 %, respectively.

Based on the results obtained, it can be concluded that the tactics of breeding will depend on the tasks that arise at a particular stage of the breeding process. To increase production efficiency, it is possible to use both crosses of existing lines and returnable mating options for cross-breeding sheep, obtained earlier and used to repair breeding stock.

Библиографический список

1. Абонеев В. В., Колосов Ю. А. Состояние племенных ресурсов овцеводства Российской Федерации и пути их совершенствования. Инновационные пути решения актуальных проблем АПК России: материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Персиановский, 2023. С. 150-154.

2. Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Дегтярь А. С., Смородин Ф. А. Мясная продуктивность овец различных генотипов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 2 (66). С. 196-202.

3. Шперов А. С., Чамурлиев Н. Г., Шангераев Г. М., Абдулхаликов А. М. Мясная продуктивность и качество мяса чистопородных и помесных баранчиков. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 250-257.

4. Колосов Ю. А., Чамурлиев Н. Г., Шперов А. С. Результаты топкроссинга в стаде овец сальской породы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 1 (73). С. 157-163.

5. Колосов Ю. А., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Абонеев В. В., Куликова А. Я., Кудинов А. А. Трансформация российского овцеводства: на примере Ростовской области. Известия НВ АУК. 2026. № 1 (85). С. 301-309.

6. Колосов Ю. А., Абонеев В. В., Немашкалов Г. П. Генетическая структура стада овец сальской породы, характеристика линий и возможности их использования для совершенствования мериносового овцеводства Ростовской области. Научно-практические рекомендации. Персиановский, 2023.

7. Колосов Ю. А., Бараников А. И., Василенко В. Н., Михайлов Н. В. Информационное сопровождение селекционного процесса в овцеводстве. Персиановский, 2012.

8. Колосов Ю. А., Дегтярь А. С., Абонеев В. В., Марченко В. В., Василенко В. Н., Кавардаков В. Я., Кайдалов А. Ф. Использование потенциала интенсивных пород овец для увеличения производства продукции овцеводства. Персиановский, 2020.

9. Колосов Ю. А., Белов Д. Е. Какие же люди «съели» овец? Овцы, козы, шерстяное дело. 2013. № 2. С. 57-60.

10. Ливанов М. Е. Руководство к разведению и поправлению домашнего скота. В Санкт-Петербург, 1794. № 8. Т. IY. 70 с.

11. Малигонов А. А. Избранные труды. М., 1968. 391 с.

12. Серебровский А. С. Селекция животных и растений. М.: Колос, 1969. 295 с

13. Lukonina O., Bakoev S., Kolosov Yu., Akhmedli V., Bakoeva I., Kolosova M., Usatov A., Kolosov A., Getmantseva L. Study on the genomic basis of adaptation in Salsk sheep. Biology. 2025. V. 14. № 11. Art. 1620.

References

1. Aboneev V. V., Kolosov Yu. A. The state of the breeding resources of sheep breeding in the Russian Federation and ways to improve them. Innovative ways to solve urgent problems of the Russian agro-industrial complex: materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference. Persianovsky, 2023. Pp. 150-154.

2. Kolosov Yu. A., Chamurliev N. G., Degtyar A. S., Smorodin F. A. Meat productivity of sheep of various genotypes. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2022. № 2 (66). Pp. 196-202.

3. Shperov A. S., Chamurliev N. G., Shangeraev G. M., Abdulkhalikov A. M. Meat productivity and meat quality of purebred and mongrel sheep. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2024. № 3 (75). Pp. 250-257.

4. Kolosov Yu. A., Chamurliev N. G., Shperov A. S. The results of topcrossing in a flock of Salsk sheep. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2024. № 1 (73). Pp. 157-163.

5. Kolosov Yu. A., Gorlov I. F., Skladenkina M. I., Aboneev V. V., Kulikova A. Ya., Kudinov A. A. Transformation of Russian sheep breeding: on the example of the Rostov region. Proceedings of the Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2026. No 1 (85). Pp. 301-309.

6. Kolosov Yu. A., Aboneev V. V., Nemashkalov G. P. Genetic structure of a flock of Salsk sheep, characteristics of lines and the possibility of their use to improve merino sheep breeding in the Rostov region. Scientific and practical recommendations. Persianovsky, 2023.

7. Kolosov Yu. A., Baranikov A. I., Vasilenko V. N., Mikhailov N. V. Information support of the breeding process in sheep breeding. Persianovsky, 2012.

8. Kolosov Yu. A., Degtyar A. S., Aboneev V. V., Marchenko V. V., Vasilenko V. N., Kavardakov V. Ya., Kaidalov A. F. Using the potential of intensive sheep breeds to increase the production of sheep products. Persianovsky, 2020.

9. Kolosov Yu. A., Belov D. E. What kind of people "ate sheep"? Sheep, goats, wool business. 2013. № 2. Pp. 57-60.

10. Livanov M. E. A guide to the breeding and improvement of livestock. St. Petersburg, 1794. No 8. V. IY. 70 p.

11. Malygonov A. A. Selected works. Kolos Publishing House, Moscow, 1968, 391 p.

12. Serebrovsky A. S. Breeding of animals and plants. Moscow: Kolos, 1969. 295 p.

13. Lukonina O., Bakoev S., Kolosov Yu., Akhmedli V., Bakoeva I., Kolosova M., Usatov A., Kolosov A., Getmantseva L. Study on the genomic basis of adaptation in Salsk sheep. Biology. 2025. V. 14. № 11. Art. 1620.

Информация об авторах

Колосов Юрий Анатольевич, доктор сельскохозяйственный наук, профессор кафедры, Донской государственный аграрный университет (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), ORCID: 0000-0002-6826-8009, e-mail: kolosov-dgau@mail.ru

Горлов Иван Фѐдорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, 28), главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. им. М. Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Сложенкина Марина Ивановна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Абонеев Василий Васильевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Краснодарский НЦ по зоотехнии и ветеринарии (Российская Федерация, 350055, г. Краснодар, пос. Знаменский, ул. Превомайская, 4), ORSID https://orcid.org/0000-0002-1946-1822, e-mail: aboneev49@mail.ru

Куликова Анна Яковлевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии (Российская Федерация, 350055, г. Краснодар, пос. Знаменский, ул. Превомайская,4), https:/orcid.org/0000-0003-0544-4914, e-mail: skniig@yandex.ru

Колосова Наталья Николаевна, кандидат философских наук, доцент, Донской государственный аграрный университет (Российская Федерация, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), https://orcid.org/0000-0002-1504-0617, e-mail: nnklsv@mail.ru

Authors' Information

Kolosov Yuri Anatolyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, village of Persianovsky, Krivoshlykov Str., 24), ORCID: 0000-0002-6826-8009, e-mail: kolosov-dgau@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru
Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovsky Str., 6); Professor Departments, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru
Aboneev Vasily Vasilyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Krasnodar Scientific Research Center for Animal Science and Veterinary Medicine (Russian Federation, 350055, Krasnodar, village Znamensky, Prevomayskaya Str., 4), https://orcid.org/0000-0002-1946-1822, e-mail: aboneev49@mail.ru
Kulikova Anna Yakovlevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine (Russian Federation, 350055, Krasnodar, village Znamensky, Pervomayskaya Str., 4), e-mail: skniig@yandex.ru
Kolosova Natalia Nikolaevna, Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department, Don State Agrarian University (Russian Federation, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, village of Persianovsky, Krivoshlykov Str., 24), e-mail: nnklsv@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-38

THE ORGANIZATIONAL, ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE RUSSIAN APICULTURE COMPETITIVENESS

Komlatsky G. V., Tereshchenko G. A., Komlatskaya M. G.

Kuban State Agrarian University by name I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: gregwk@mail.ru

Received 23.03.2026 Submitted 05.05.2026

The research was carried out within the framework of project No. 25-28-01726 'Multi-factor model of greening industrial beekeeping' with the support of the Russian Science Foundation.

Summary

The article provides an analysis of the current state of Russian beekeeping. The main challenges, organizational, economic, and technological aspects of the industry's competitiveness are analyzed. Proposals are made for transforming beekeeping into a high-tech industry.

Abstract

Introduction. Beekeeping performs a strategic function in the agricultural sector of the Russian Federation, ensuring product output and pollination of entomophilous agricultural crops. The systemic problems of the industry include: high concentration of production in household farms, small-scale production, use of outdated beekeeping technologies, massive bee kills from pesticides, climate risks, and insufficient financial and institutional state support. **An object.** Objective of the study – to analyze factors influencing the competitiveness of beekeeping and to develop proposals for its enhancement, taking into account contemporary challenges and trends in the industry's development. **Materials and methods.** Systemic analysis, monographic method, economic-statistical analysis (dynamics of bee colonies, honey production and exports for 2019-2025 based on Rosstat, Rosselkhozbank and TEBIZ GROUP data), comparative analysis (farm categories, export prices), and program-target approach. **Results and conclusion.** Key challenges are identified: a high share of household farms (92.2 % of bee colonies) hindering innovation; climate risks; massive bee kills due to diseases and uncontrolled pesticide use; spontaneous sales market; high level of product falsification. The export potential of the industry is realized only at 4.35 % of production volume and remains commodity-based (average export price $1.76 – 2.49/kg). Pathways to enhance competitiveness are proposed: technological re-equipment (apiary pavilions, monitoring systems), quality improvement, gene pool conservation, market expansion, infrastructure development, diversification (apitourism, apitherapy, contract pollination), as well as reforming the organizational-economic mechanism through cooperation and clustering. Government support, subsidies, grants, and digitalization are necessary conditions for successful strategy implementation. Scientific novelty. The original model of an organizational-economic mechanism for improving the competitiveness of beekeeping has been developed, incorporating a cluster approach, digital platforms, and adaptation mechanisms to new institutional requirements (professional standard "Beekeeper", legislation on pollination services).

Keywords: *apiculture, competitiveness of beekeeping, pavilion beekeeping, contract pollination.*

Citation. Komlatsky G. V., Tereshchenko G. A., Komlatskaya M. G. The organizational, economic and technological aspects of the Russian apiculture competitiveness. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 344-353 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-38.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 638.11:338.439

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РОССИЙСКОГО ПЧЕЛОВОДСТВА

Комлацкий Г. В., *доктор сельскохозяйственных наук, кандидат экономических наук*
Терещенко Г. А., *преподаватель*
Комлацкая М. Г.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения проекта № 25-28-01726 «Многофакторная модель экологизированного индустриального пчеловодства» при поддержке Российского научного фонда.

Актуальность. Пчеловодство выполняет стратегическую функцию в АПК РФ, обеспечивая производство продукции и опыление энтомофильных сельскохозяйственных культур. Системными проблемами отрасли являются высокая концентрация производства в хозяйствах населения, мелкотоварный характер производства, использование устаревших технологий пчеловождения, массовая гибель пчёл от пестицидов, климатические риски, недостаточная финансовая и институциональная государственная поддержка. Цель исследования – анализ факторов, влияющих на конкурентоспособность пчеловодства, и разработка предложений по её повышению с учётом современных вызовов и трендов развития отрасли. **Методы.** Исследование базируется на системном анализе, позволившем структурировать внутренние и внешние факторы конкурентоспособности; монографическом методе, использованном для детального изучения опыта успешных хозяйств (в том числе в области апитуризма); экономико-статистическом методе, включающем анализ динамики численности пчелосемей, объёмов производства и экспорта меда за 2019-2025 гг. на данных Росстата, Россельхозбанка и TEBIZ GROUP; сравнительном анализе, применённом для сопоставления категорий хозяйств (ЛПХ, КФХ, сельхозорганизаций) и экспортных цен на продукты пчеловодства; программно-целевом подходе, используемом при разработке предложений по кластеризации и цифровизации отрасли. **Результаты и выводы.** Выявлены ключевые вызовы: высокая доля хозяйств населения (92,2 % пчелосемей), затрудняющая внедрение инноваций; климатические риски; массовая гибель пчёл из-за болезней и бесконтрольного применения пестицидов; стихийный рынок сбыта; высокий уровень фальсификации продукции. Экспортный потенциал отрасли реализован лишь на 4,35 % от объёма производства и носит сырьевой характер (средняя экспортная цена 1,76 – 2,49 $/кг). Основными направлениями повышения конкурентоспособности определены технологическое перевооружение (павильонное пчеловодство, системы мониторинга), улучшение качества продукции, сохранение генофонда пчёл, расширение рынков сбыта, развитие инфраструктуры, диверсификация (апитуризм, апитерапия, контрактное опыление), а также реформирование организационно-экономического механизма на основе кооперации и кластеризации. Государственная поддержка, субсидии, гранты и цифровизация являются необходимыми условиями успешной реализации стратегии. Научная новизна. Разработана авторская модель организационно-экономического механизма повышения конкурентоспособности пчеловодства, включающая кластерный подход, цифровые платформы и механизмы адаптации к новым институциональным требованиям (профессиональный стандарт «Пчеловод», закон о пчеловодстве в части опылительных услуг).

Ключевые слова: *пчеловодство, конкурентоспособность пчеловодства, павильонное пчеловодство, контрактное опыление.*

Цитирование. Комлацкий Г. В., Терещенко Г. А., Комлацкая М. Г. Организационно-экономические и технологические аспекты конкурентоспособности российского пчеловодства. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 344-353. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-38.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В условиях глобальных социально-экономических, политических и экологических вызовов особенно актуальным является обеспечение продовольственной безопасности страны [1; 2]. Важным фактором в ее обеспечении является высокая конкурентоспособность отечественной продукции [3; 4].

Анализ научной литературы свидетельствует о том, что нет единого универсального подхода к определению конкурентоспособности. Классическая формулировка конкурентоспособности была дана М. Портером, в которой критерием выступает наличие экспортной составляющей. Фундаментом для формирования конкурентоспособности являются конкурентные

преимущества. Конкурентоспособность проявляется на различных уровнях, которые тесно связаны друг с другом. На микроуровне – это конкурентоспособность товаров/услуг; на мезоуровне – конкурентоспособность регионов и отраслей, на макроуровне – конкурентоспособность экономик. [5]. Конкурентоспособность в условиях глобальной конкуренции является ключевым фактором устойчивого развития агропромышленного комплекса, способствующим повышению эффективности производства, улучшению качества продукции и удовлетворению потребительских запросов. Общими показателями при ее оценке выступают ресурсная составляющая и показатели рентабельности инвестиций, динамика эффективности использования ресурсов, текущих расходов и реализованной продукции [6].

Конкурентоспособность в аграрной сфере – это способность предприятий, отраслей или регионов производить и реализовывать продукцию, которая превосходит аналоги по качеству, цене и востребованности на рынке. К объектам конкурентоспособности можно отнести продукцию, технологии, производство, персонал и другие аспекты.

Конкурентоспособность отрасли – это способность отрасли создавать конкурентные преимущества предприятий, товары которых по ценовым и качественным характеристикам более привлекательны для потребителей, чем товары аналогичных отраслей-конкурентов. Она базируется на конкурентных преимуществах – превосходстве над соперниками в условиях конкуренции. Конкурентоспособность отрасли определяется конкурентоспособностью субъектов, составляющих отрасль, и конкурентоспособностью макросреды, в которой функционирует отрасль; относительностью, выявляющейся в процессе сравнения с аналогичными объектами; и динамичностью, то есть способностью изменяться с течением времени. Конечная оценка конкурентоспособности отрасли осуществляется потребителем товара, выпускаемого отраслью.

С учетом того, что пчеловодство является важным фактором в обеспечении продовольственной безопасности, актуальным является исследование отрасли с точки зрения ее конкурентоспособности.

Целью исследования явился анализ факторов, влияющих на конкурентоспособность пчеловодства, и разработка предложений по ее повышению.

Материалы и методы. Информационную базу исследования составили официальные статистические данные Министерства сельского хозяйства РФ, аналитические отчеты Россельхозбанка (Центр отраслевой экспертизы), маркетинговые исследования TEBIZ GROUP, региональные реестры пчеловодческих хозяйств, а также публикации в деловых изданиях (РБК, Ведомости). В работе использованы методы системного анализа, экономико-статистического анализа, сравнительного анализа, а также программно-целевой подход. В ходе выполнения исследований были использованы общие методы научного познанию, в то числе, монографический, статистический, методы обобщения и систематизации.

Результаты и обсуждение. Пчеловодство занимает особое место в агропромышленном комплексе Российской Федерации, выполняя две взаимосвязанные функции: производство ценной пищевой продукции (меда, прополиса, перги, воска, маточного молочка) и обеспечение опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур. Опылительная деятельность пчел способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур до 40 %, а по отдельным культурам (подсолнечник, гречиха, рапс) – в 2-3 раза. Как отмечают эксперты Россельхозбанка, биологизация в растениеводстве и растущий спрос на натуральные продукты создают для отечественных пчеловодов дополнительные возможности, в том числе, экспортные.

В Федеральном законе «О пчеловодстве в Российской Федерации» среди основных задач развития отрасли указано повышение конкурентоспособности сельскохозяйственных товаропроизводителей, осуществляющих производство продукции пчеловодства и (или) её первичную и последующую переработку. Таким образом, конкурентоспособность отражает способность пчеловодства адаптироваться к рыночным условиям, удовлетворять потребности потребителей и обеспечивать устойчивое развитие отрасли.

Несмотря на то, что пчеловодством россияне занимаются с давних пор, по уровню технологического развития отрасль соответствует первому технологическому укладу, при котором практически все операции выполняются вручную. Более 90 % пчелиных семей содержатся в хозяйствах населения, а производство меда носит мелкотоварный характер. Естественно, в таких условиях продукция и само пчеловодство не могут быть конкурентоспособными.

За последние 30 лет произошли существенные изменения в структуре производства пчеловодной продукции по категориям хозяйств. Сегодня почти 90 % пасек находится в частных пасеках. Пчеловодством занимаются около 5 тыс. хозяйств и примерно 300 тыс. пчеловодов-любителей. Средний размер приусадебной пасеки составляет 5-7, а в сельхозпредприятиях и фермерских хозяйствах – 50-60 пчелиных семей. Ключевой тенденцией последних лет стало снижение численности пчелиных семей, наиболее значительное падение зафиксировано в 2024 году (таблица 1).

Таблица 1 – Численность пчелиных семей в России, млн шт.
Table 1 – Number of bee colonies in Russia, million units

Год / Year	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Количество пчелосемей / Number of bee colonies	2,982	2,890	2,790	2,743	2,757	2,538

По данным Росстата и аналитическим оценкам TEBIZ GROUP, в структуре распределения пчелосемей по категориям хозяйств доминируют хозяйства населения, но, при этом, фермерский сектор (КФХ) растет быстрее других: в 2025 году фермеры увеличили производство меда на 11 % по сравнению с предыдущим годом (таблица 2).

Таблица 2 – Структура пчеловодства по категориям хозяйств в РФ, 2025 г.
Table 2 – Structure of Beekeeping by Farm Category in the Russian Federation, 2025

Категория хозяйств / Category of farms	Доля пчелосемей, % / Share of bee colonies, %	Доля в производстве меда, % / Share in honey production, %	Тренд / Trend
Хозяйства населения (ЛПХ) / Household farms (personal subsidiary farm)	92,2	88-90	Стабильно высокая / Steadily high
Сельскохозяйственные организации / Agricultural organizations	1,0	1-2	Сокращающаяся / Declining

Источник: составлено авторами по данным Россельхозбанка, TEBIZ GROUP [1].

Ежегодно пчеловоды страны получают около 64 тыс. т товарного меда (таблица 3). По прогнозу аналитиков, в 2026 году производство вырастет до 66 119 тонн.

В рейтинге округов Приволжский федеральный округ уверенно удерживает первое место; в 2025 году пчеловодами региона было получено 19 345 тонн меда – более 30 % от общероссийского объема. Безусловный лидер пчеловодства в России – Республика Башкортостан. В 2025 году башкирские пасеки дали 5 664 тонны меда – это более 29 % от общего объема ПФО и около 9 % от всего производства в стране.

По данным Центра отраслевой экспертизы Россельхозбанка, в 2025 году Россия экспортировала 2 824 тонны натурального меда (таблица 4).

Таблица 3 – Производство товарного мёда в России хозяйствами всех категорий, т
Table 3 – Production of marketable honey in Russia by farms of all categories, tons

Год / Year	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество товарного меда / Quantity of honey	66368	64533	67014	64534	64057	66100
Темп роста к предыдущему году, % / Growth rate compared to the previous year, %	-	+1,1	-0,6	-2,7	+1,6	+2,9

Источник: составлено авторами по данным Россельхозбанка, Центр отраслевой экспертизы.

Таблица 4 – Динамика экспорта меда из РФ (2020-2025 гг.)
Table 4 – Dynamics of honey exports from the Russian Federation (2020-2025)

Показатель / Indicator	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Объем экспорта, тонн / Export volume, tons	~2100	~2350	~2 600	~2900	~3200	2824
Стоимость экспорта, млн долл. / Export value, USD million	~8,4	~9,8	~11,5	~13,5	~15,5	~14,0
Доля экспорта в производстве, % / Export share in production, %	3,3	3,7	4,1	4,7	5,1	4,35

Источник: составлено автором по данным Россельхозбанка, TEBIZ GROUP [1].

Основными странами-экспортерами российского меда были Сербия (24 %), Китай (22 %) и Казахстан (15 %).

Как и любая аграрная сфера, пчеловодство сталкивается с вызовами, обусловленными изменением климата, сокращением пчелиных популяций, их гибелью от болезней и вредителей, отравлением пестицидами при обработке полей без оповещения пчеловодов, антропогенной нагрузкой на агроландшафты, рыночной конкуренцией износом, инфраструктуры, кадровыми проблемами и др.

Анализ нормативно-правовой базы России по вопросу качества продукции свидетельствует о наличии большого количества методик по определению натуральности и подлинности меда. С учетом современных требований необходимо разработать методики по определению остаточного количества антибиотиков и расширению списка их нормирования [7].

Особое давление в этих условиях испытывают малые пчеловодческие хозяйства, составляющие в России, как и в других странах, основу отрасли (до 95 % производителей). Их выживание и устойчивое развитие невозможно без перехода на новые технологические рельсы.

Таблица 5 – Факторы конкурентоспособности пчеловодства РФ
Table 5 – Factors of Beekeeping Competitiveness in the Russian Federation

Группа факторов / Group of factors	Внутренние / Internal	Внешние / External
Ресурсные / Resource	Наличие медоносных угодий, породный состав пчел (среднерусская, дальневосточная, башкирская), состояние материально-технической базы / Availability of honey-producing areas, bee breed composition (Central Russian, Far Eastern, Bashkir), and the state of the material and technical base	Природно-климатические условия, состояние медоносной базы / Natural and climatic conditions, and the state of the honey supply
Технологические / Technological	Применяемые системы пчеловождения (кочевое, стационарное), методы селекционной работы, уровень механизации / Beekeeping systems used (nomadic, stationary), breeding methods, and level of mechanization	Доступность инноваций, уровень развития смежных отраслей, цифровизация АПК / Availability of innovations, level of development of related industries, and digitalization of the agricultural sector
Организационные / Organizational	Организационно-экономический механизм хозяйствования, мелкотоварный характер производства, соотношение крупных и мелких хозяйств, уровень кооперации, наличие отраслевых союзов / Organizational and economic management mechanisms, small-scale production, the ratio of large and small farms, the level of cooperation, and the existence of industry unions	Нормативно-правовое регулирование, система господдержки, требования маркировки / Legal regulation, state support system, and labeling requirements
Рыночные / Market	Качество продукции, себестоимость, уровень брендирования (региональные бренды), каналы сбыта / Product quality, cost, branding level (regional brands) and distribution channels	Конъюнктура мирового рынка, импортная продукция, экспортный потенциал, спрос на натуральные продукты / Global market conditions, imported products, export potential, and demand for natural products

Для эффективного использования потенциала необходима трансформация пчеловодства в высокотехнологичную отрасль, что требует изменения стратегии развития пчеловодства и принятия мер по повышению конкурентоспособности.

Конкурентоспособность российского пчеловодства детерминируется совокупностью внутренних и внешних факторов (таблица 5).

С учетом конъюнктуры рынка важным элементом конкурентоспособности является экологичность продукции. Рынок органической продукции динамично развивается, и у российских пчеловодов есть реальные шанс найти свою нишу в этом сегменте [8; 9].

Ключевыми вызовами и угрозами конкурентоспособности являются высокая концентрация производства в хозяйствах населения, использующих устаревшие трудозатратные технологии пчеловождения; климатические факторы, обусловленные глобальным потеплением; гибель пчелиных семей из-за болезней, вредителей и химических средств защиты растений.

Обсуждение результатов. Несмотря на высокую значимость, отрасль находится в состоянии технологического застоя. Как уже отмечалось, более 85 % товарного меда до сих пор производится в личных подсобных хозяйствах с преимущественно ручным трудом, что соответствует первому, второму технологическим укладам. Модернизация материально-технической базы является необходимым условием повышения эффективности отрасли [10]. Одним из направлений является павильонное пчеловодство, позволяющее выполнять все три основные: медово-товарную, опылительную и разведенческую. функции пчеловодства Приоритетные направления технологического перевооружения представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Приоритетные направления технологического перевооружения пчеловодства
Table 6 – Priority areas of technological re-equipment in beekeeping

Направление / Direction	Ожидаемый эффект / Expected effect	Ориентировочные затраты на 1 пасеку, тыс. руб. / Estimated costs per apiary, thousand rubles
Внедрение современных ульев / Introduction of modern beehives	Снижение зимних потерь на 15-20 % / Winter losses reduced by 15-20 %	80-120
Механизация откачки меда / Mechanization of honey pumping	Повышение производительности труда в 2-3 раза / Increase in labor productivity by 2-3 times	150-250
Оборудование для переработки воска / Wax processing equipment	Рост выхода воска на 25 % / Wax yield increases by 25 %	100-180
Системы мониторинга (датчики) / Monitoring systems (sensors)	Снижение трудозатрат на 30% / 30 % reduction in labor costs	50-100

Установлено, что в современных условиях одним из «узких» мест является реализация меда и других продуктов пчеловодства [11]. В стране сложилась стихийная система реализации продукции, при которой основная часть меда реализуется перекупщикам по низкой цене, а остальную пчеловоды продают на рынках, ярмарках, соседям и знакомым. Уровень товарности российского рынка меда составляет около 60 %. Из-за мелкотоварного характера производства пчеловоды не могут получить в товарных количествах товарную продукцию пыльцы-обножки, маточного молочка, прополиса и других продуктов пчеловодства. Развитие рынка и производство меда сдерживается из-за низкой ценовой эластичности спроса.

Оценка текущей ситуации в пчеловодстве выявила также структурные диспропорции в экспорте продукции, структура которого, несмотря на рост физических объемов, остается сырьевой. Необходимо также отметить, что одним из неблагоприятных внешних факторов является географическое расположение России между двумя ведущими экспортерами меда – Китаем и Украиной. Для этих стран географическая близость с Россией и наличие общей границы обеспечивают им дополнительные преимущества в конкурентной борьбе за медовый рынок. Доля экспорта российского меда составляет около 1 %, что соответствует 40-му месту в мировом рейтинге экспортеров. Средняя цена российского меда на внешних рынках колеблется около 2 $/кг, тогда как продукты его переработки (БАДы, космецевтика) реализуются по цене в десятки раз выше [12]. Выявлено, что, при наращивании физических объемов, стоимость единицы продукции в последние годы практически не увеличивается, и средняя экспортная цена на протяжении шести лет держится в коридоре 1,76-2,49 $/кг.

Мониторинг мировых цен на другие продукты пчеловодства выявил, что маточное молочко на европейских рынках стоит 80-120 $/кг, прополис – 40-60 $/кг, а пчелиный яд – до 5000 $/кг. Пока эти продукты практически не экспортируются. Для увеличения размера

добавленной стоимости необходимо повысить ценность продукта за счёт улучшения качества, переработки, упаковки, брендинга, маркетинга и других средств [13, 14]. Например, поставка на рынок эксклюзивных сортов меда: каштанового, акациевого, бортевого повысят экспортные возможности.

С учетом мирового тренда на ЗОЖ (здоровый образ жизни) перспективным является производство органических продуктов пчеловодства. Благодаря обширной медоносной базе такая продукция может быть получена, в частности, в предгорьях Кавказа и лесных массивах. Как и эксклюзивная, так и органическая продукция обеспечат более высокую добавленную стоимость по сравнению с ординарным медом.

Увеличить добавленную стоимость в пчеловодстве можно, развивая разные направления: опыление, продажу мёда и продукции пчеловодства в переработанном виде, разведение пчёл или оказание консультационных услуг. Важно диверсифицировать источники дохода, так как занятие только одним мёдом может быть убыточным из-за высокой конкуренции [15].

Диверсификация способствует повышению конкурентоспособности отрасли [16, 17]. Так, апитуризм (познавательный туризм на пасеках) позволяет получить дополнительный доход и повысить узнаваемость продукции. Практический пример успешного развития апитуризма демонстрирует экоферма «Лүксүгүн» в Якутии. Семья Ионовых, выиграв грант «Агротуризм» в размере 7,5 млн рублей, организовала на своей пасеке прием гостей с предложением отдыха в апидомиках. Значительный потенциал развития имеет апитерапия – использование продуктов пчеловодства в лечебно-профилактических целях. Лечебный эффект продуктов пчеловодства основан на наличии в них большого количества различных энергетических и биологически активных веществ. Например, в Республике Башкортостан, где бренд «Башкирский мед» широко известен, разработаны оздоровительные турпродукты с применением апитерапии.

Текущее состояние в отрасли свидетельствует о низкой привлекательности профессии для молодежи вследствие использования трудозатратных технологий и низких доходов. Между тем, грамотное управление и повышение квалификации работников повышают производительность труда и качество продукции. Приказом Министерства труда и социальной защиты от 15.06.2024 г. № 354н с 1 марта 2025 года введен в действие профессиональный стандарт «Пчеловод», содержащий подробное описание трудовых функций пчеловода. Наряду с традиционными видами работ, в стандарте приведен перечень работ по управлению производством продукции. Кроме того, впервые прописана деятельность по оказанию услуг по опылению энтомофильных сельскохозяйственных культур. На наш взгляд, данный стандарт, а также положения «Закона о пчеловодстве» в части опылительной деятельности послужат основой для организации контрактного опыления и будут способствовать повышению конкурентоспособности отрасли.

Показатель устойчивости конкурентоспособности отрасли во многом обеспечивается интеграцией и синергией взаимодействия субъектов хозяйствования отрасли. Данные элементы необходимо заложить в основу концепции конкурентоспособности отрасли. Учитывая, что большинство пасек сосредоточено в хозяйствах населения, развитие кооперации является критически важным направлением [20; 21]. Создание кооперативов позволит обеспечить коллективный доступ к рынкам сбыта; возможность совместного приобретения материально-технических средств; ветеринарное обслуживание; снизить издержки на сертификацию и маркировку продукции.

Несовершенство экономического механизма рынка продукции пчеловодства тормозит развитие предпринимательства в отрасли, в том числе и в части оснащения пчеловодов современным оборудованием (комплексом по откачке меда, фасовке и т. д.). Затраты на приобретение вощины, ульев, инструментов также оказывают влияние на себестоимость продукции. Из-за ограниченности средств пчеловод не имеет возможности расширить пасеку или приобрести дорогостоящее оборудование.

Одним из направлений преодоления данных проблем является разработка и использование многофакторной модели экологизированного индустриального пчеловодства, ключевыми элементами которой выступает кооперация и формирование кластеров: как между самими пчеловодами, так и между пчеловодами и сельхозпроизводителями, научными учреждениями и перерабатывающими предприятиями. Международный опыт показывает, что региональная индустриальная политика в поисках путей повышения конкурен-

тоспособности фокусирует свое внимание на инновациях и более продуктивном обмене знаниями и технологиями. В пчеловодстве могут найти применение селекционно-генетические, производственно-технологические, организационно-управленческие, экономические и социально-экологические инновации.

Говоря о показателе конкурентоспособности отрасли, необходимо учитывать свойство его устойчивости, которое на сегодняшний день может обеспечить кластеризация. Кластеры представляют объединенные на одной территории группы предприятий, связанных единым процессом создания блага. Кластер позволяет увеличить масштабы производства за счет эффекта синергии, запустив тем самым эффект мультипликатора в развитии конкурентоспособности отрасли.

В нынешних условиях стала очевидной необходимость перехода от преимущественно стихийного к регулируемому рынку как производства, так и реализации продуктов пчеловодства. Важным условием является сочетание государственной поддержки с всемерным развитием кооперации и интеграции на всех стадиях технологической цепочки от производителя до потребителя.

Заключение. Ключевыми вызовами для отрасли являются: высокая доля хозяйств населения, затрудняющая внедрение инноваций; климатические риски; массовая гибель пчел из-за болезней и применения химических средств защиты без оповещения; стихийный рынок сбыта; высокий уровень фальсификации и др.

Основными направлениями повышения конкурентоспособности отрасли являются технологическое перевооружение, улучшение качества продукции, глубокая переработка продуктов пчеловодства, сохранение генофонда пчёл, защита популяций пчёл, борьба с болезнями и вредителями, использование цифровых технологий, расширение рынков сбыта, развитие инфраструктуры и укрепление позиций отрасли на внутреннем и внешнем рынках. Перспективными направлениями диверсификации отрасли являются развитие апитуризма, апитерапии и контрактного опыления с разработкой механизма оказания опылительных услуг.

Для трансформации пчеловодства в высокотехнологичную отрасль требуется реформирование организационно-экономического механизма в многофакторную модель хозяйствования на основе кооперации и кластеризации. Устойчивое функционирование отрасли нуждается в научном обеспечении, реализуемом в рамках территориального кластера.

Conclusion. The key challenges facing the industry are: a high proportion of household farms, which hinders the adoption of innovations; climate risks; large-scale bee mortality due to diseases and the use of chemical plant protection products without prior notification; a spontaneous sales market; a high level of adulteration (fraud), and others.

The main directions for increasing the industry's competitiveness are technological re-equipment; improving product quality; deep processing of bee products; preserving the bee gene pool; protecting bee populations; controlling diseases and pests; utilizing digital technologies; expanding sales markets; developing infrastructure; and strengthening the industry's position in domestic and foreign markets. Promising directions for diversifying the industry include the development of apitourism, apitherapy, and contract pollination, along with establishing a mechanism for providing pollination services.

To transform beekeeping into a high-tech industry, it is necessary to reform the organizational and economic mechanism into a multifactorial economic model based on cooperation and clustering. The sustainable functioning of the industry requires scientific support, implemented within the framework of a territorial cluster.

Библиографический список

1. Нечаева М. Л., Матвеева Д. А., Демидова Е. Е., Проваленова Н. В. Факторы конкурентоспособности сельскохозяйственного региона. Вестник НГИЭИ. 2021. № 5 (132). С. 82-103.
2. Яни А. В. Теоретико-методологические аспекты и роль конкурентоспособности в развитии экономических субъектов и национальной экономики. Креативная экономики. 2021. Т. 15. № 5. С. 1609-1628.
3. Белова С. В., Микулич И. М. Оценка конкурентоспособности отрасли. Вестник белорусского государственного экономического университета. 2023. № 3 (158). С. 5-12
4. Никольский Я. С. Конкурентоспособность агропромышленного комплекса: классификация понятий и концептуальные уточнения. Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2024. № 4 (39).
5. Безбородов А. Г., Колесниченко И. С., Хлусов В. М. Органическое пчеловодство. М.: ФГБОУ ВО «РАКО АПК», 2022. 212 с.
6. Любимова О. Д., Любимов А. С., Резниченко И. Ю. Пути продвижения продукции пчеловодства на потребительский рынок. Пчеловодство. 2023. № 4. С. 57-59.
7. Никулина О. В., Ледовской М. А. Анализ развития отрасли пчеловодства в России: выявление проблем и поиск резервов для повышения конкурентоспособности на международной арене. Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2022. № 1 (69). Статья № 6911.

8. Кириллова О. В. Особенности брендирования апи формировании спроса и стимулирования сбыта продукции фермерских хозяйств. Агропродовольственная политика России. 2025. № 61 (119). С. 88-96.

9. Ляшенко М. В., Калмыков С. П., Буднова Н. В., Байков Р. В. Современное состояние и проблемы экспорта российского меда. Инновации и продовольственная безопасность. 2025. № 4 (50). С. 148-157.

10. Залилова З. А. Анализ методик эффективного управления ассортиментом продукции. Российский электронный журнал. 2022. № 2 (44). С. 9-104.

11. Савенко В. Г., Андреева Н. П., Егоров Ю. Н. Тенденции диверсификации сельской экономики. Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 7. С. 124-130.

12. Якупова А. С., Светлаков А. Г. Методика оценки занятости и доходов сельского населения, занятого в пчеловодстве в условиях непредсказуемости. Исследование проблем экономики и финансов. 2024. № 3. С. 1-14.

13. Колупаев С. В. Разработка показателей системной оценки функционирования организационно-экономического механизма развития пчеловодства. Столыпинский вестник. 2022. № 1. С. 25-235.

14. Голова Е. Е., Сысоев Н. Л. Экономическая целесообразность реализации агростартапа в отрасли пчеловодства. Естественно-гуманитарные исследования. 2024. № 3 (53). С. 108-112

15. Пыл В. С., Гануш Г. И. Основные направления развития кооперативно-интеграционных отношений в области пчеловодства Республики Беларусь. Аграрная экономика. 2022. № 12 (331). С. 53-61.

16. Субаева А. Ф. Повышение экономической эффективности производства продукции пчеловодства: монография. Ульяновская ГСХА. 2021. 180 с.

17. Саранчин В. К., Суслов С. В., Климов А. П., Кривошея Б. С. Совершенствование экономической и физико-биологической эффективности производства продукции пчеловодства. Московский экономический журнал. 2024. Т. 9. № 6. С. 656-672.

References

1. Nechaeva M. L., Matveeva D. A., Demidova E. E. Provalenova N. V. Factors of competitiveness of the agricultural region. Bulletin of the NGIEI. 2021. No 5 (132). Pp. 82-103.

2. Yani A. V. Theoretical and methodological aspects and the role of competitiveness in the development of economic entities and the national economy. Creative economy. 2021. V. 15. No 5. Pp. 1609-1628.

3. Belova S. V., Mikulich I. M. Evaluation of the competitiveness of the industry. Bulletin of the Belarusian State University of Economics. 2023. № 3 (158). Pp. 5-12.

4. Nikolsky Ya. S. Competitiveness of the agro-industrial complex: classification of concepts and conceptual clarifications. Electronic scientific and methodological journal of the Omsk State Agrarian University. 2024. № 4 (39).

5. Bezborodov A. G., Kolesnichenko I. S., Khlusov V. M. Organic beekeeping. Moscow: "RAKO APK", 2022. 212 p.

6. Lyubimova O. D., Lyubimov A. S., Reznichenko I. Yu. Ways of promoting bee products to the consumer market. Beekeeping. 2023. № 4. Pp. 57-59.

7. Nikulina O. V., Ledovskoy M. A. Analysis of the development of the bee industry in Russia: identification of problems and search for reserves for increasing competitiveness in the international arena. Regional economics and management: electronic scientific journal. 2022. № 1 (69). Art. 6911.

8. Kirillova O. V. Features of API branding in the formation of demand and sales promotion of farm products. Agricultural and food policy of Russia. 2025. № 61 (119). Pp. 88-96.

9. Lyashenko M. V., Kalmykov S. P., Budnova N. V., Baykov R. V. The current state and problems of export of Russian honey. Innovations and food security. 2025. № 4 (50). Pp. 148-157.

10. Zalilova Z. A. Analysis of methods of effective product assortment management. Russian Electronic Journal. 2022. No 2 (44). Pp. 9-104.

11. Savenko V.G. Andreeva N.P. Egorov Yu.N. Trends in rural economy diversification. Russian Agricultural Economy. 2025. No 7. Pp. 124-130.

12. Yakupova A. S., Svetlakov A. G. Methodology for assessing employment and income of rural population engaged in beekeeping in conditions of unpredictability. Research on the problems of economics and finance. 2024. No 3. Pp. 1-14.

13. Kolupaev S. V. Development of indicators for a systematic assessment of the functioning of the organizational and economic mechanism of beekeeping development. Stolypinsky Bulletin. 2022. No 1. Pp. 25-235.

14. Golova E. E., Sysoev N. L. Economic feasibility of the implementation of agrostart in the beekeeping industry. Natural sciences and humanities research. 2024. № 3 (53). Pp. 108-112.

15. Pyl V. S., Ganush G. I. Main directions of development of cooperative integration relations in the field of beekeeping of the Republic of Belarus. Agrarian Economics. 2022. No 12 (331). Pp. 53-61.

16. Subaeva A. F. Improving the economic efficiency of bee production: the monograph. Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. 180 p.

17 Saranchin V. K., Suslov S. V., Klimov A. P., Krivosheya B. S. Improving the economic and physical and biological efficiency of bee production. Moscow Economic Journal. 2024. V. 9. No 6. Pp. 656-672.

Информация об авторах

Комлацкий Григорий Васильевич, кандидат экономических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, улица им. Калинина, 13), https://orcid.org/0000-0001-9810-7946, e-mail: gregwk@mail.ru

Терещенко Галина Алексеевна, преподаватель, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, улица им. Калинина, 13), https://orcid.org/0000-0002-2031-3325, e-mail: tereshenko-galina@mail.ru

Комлацкая Мария Григорьевна, студент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, улица им. Калинина, 13), https://orcid.org/0009-0008-4830-1490, e-mail: mariakomlackaa@gmail.com

Authors' Information
Komlatsky Grigory Vasilevich, Candidate of Economic Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Kuban State Agrarian University by name I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), https://orcid.org/0000-0001-9810-7946, e-mail: gregwk@mail.ru
Tereshchenko Galina Alikseevna, Lecturer, Kuban State Agrarian University by name I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), https://orcid.org/0000-0002-2031-3325, e-mail: tereshenko-galina@mail.ru
Komlatskaya Maria Grigorevna, Student, Kuban State Agrarian University by name I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), https://orcid.org/0009-0008-4830-1490, e-mail: mariakomlackaa@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-39

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RUSSIAN HORNLESS AND KALMYK CATTLE BREEDS PRODUCTIVE CHARACTERISTICS

[1]Mosolov A. A., [2]Natyrov A. K., [1]Mosolova D. A., [1]Akhmadov T. M., [1,3]Gorlov I. F.

[1]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation
[2]Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov
Elista, Russian Federation
[3]Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: niimmp@mail.ru

Received 25.03.2026 Submitted 05.05.2026

The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 22-16-00041-П, VRIMMP.

Summary
The article presents a comparative analysis of the quantitative and qualitative characteristics of young cattle of the Kalmyk and Russian polled breeds.

Abstract
Introduction. An analysis of the current dietary structure of the Russian population, based on official statistics and empirical research, reveals significant consumption of animal-based resources. Therefore, a priority area for the development of the domestic agro-industrial complex in the medium term is increasing meat production volumes and improving their quality. Particular attention should be paid to the specialized beef cattle sector, as beef is the most deficient component in the protein consumption structure of the Russian population. Modern advances in animal science and the introduction of innovative technologies in beef cattle breeding have created a methodological and practical basis for sustainable growth in beef production. The aim of the study is to comparatively evaluate the meat productivity and biochemical parameters of bulls of two genotypically different breeds raised on a newly organized farm. **Materials and methods.** For the experiment, the test animals were divided into two groups of 10 animals, based on their breed. The first group (I) included Kalmyk bulls, and the second (II) included Russian polled bulls. Diets for the young animals were formulated using the "Optima Expert Feed" software. Standard zootechnical methods were used in the study. **Results and conclusions.** The study results allow for a scientifically substantiated characterization of the economic and biological characteristics of the studied cattle and the quality characteristics of the resulting beef. These data demonstrate the superiority of the Russian polled breed over the Kalmyk breed in a combination of productive and quality indicators. Representatives of the Russian polled breed exhibited superior organoleptic and biochemical properties of muscle tissue. Protein analysis revealed a more balanced amino acid profile in this breed of bulls, with a biological value reaching 85.4 %. Furthermore, intensive accumulation of key essential amino acids was recorded in the muscle tissue of these animals. Laboratory studies confirmed that meat products from both breeds are characterized by a complete content of essential micronutrients.

Keywords: *Kalmyk cattle breed, Russian Hornless cattle breed, cattle breeds characteristics, productive qualities of cattle breeds, beef production, beef cattle breeding development.*

Citation. Mosolov A. A., Natyrov A. K., Mosolova D. A., Akhmadov T. M., Gorlov I. F. The comparative analysis of the Russian hornless and Kalmyk cattle breeds productive characteristics. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 353-360 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-39.
Authors' contributions. The authors of this scientific study were directly involved in laying out field experience, analyzing the data obtained during the period of research.
Conflict of interest. The authors of this publication declare no conflict of interest.

УДК 636.2.033

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РУССКОЙ КОМОЛОЙ И КАЛМЫЦКОЙ ПОРОД КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

[1]**Мосолов А. А.,** *доктор биологических наук*
[2]**Натыров А. К.,** *доктор сельскохозяйственных наук*
[1]**Мосолова Д. А.,** *соискатель*
[1]**Ахмадов Т. М.,** *магистр*
[1,3]**Горлов И. Ф.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*

[1]ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции»
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова
г. Элиста, Республика Калмыкия, Российская Федерация
[3] ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-16-00041–П, ГНУ НИИММП.

Актуальность. Анализ современной структуры пищевого рациона населения Российской Федерации, основанный на официальных статистических данных и результатах эмпирических научных исследований, свидетельствует о значительном потреблении ресурсов животного происхождения. В связи с этим приоритетным направлением развития отечественного агропромышленного комплекса в среднесрочной перспективе является увеличение объёмов производства мясной продукции и повышение её качественных характеристик. Особое внимание следует уделить сегменту специализированного мясного скотоводства, поскольку говядина является наиболее дефицитным компонентом в структуре потребления белка населением России. Современные достижения зоотехнической науки и внедрение инновационных технологий в мясном скотоводстве создали методологическую и практическую базу для устойчивого роста производства говядины. Целью исследования является сравнительная оценка мясной продуктивности и биохимических показателей организма бычков двух генотипически различных пород, разводимых в новом организованном хозяйстве. **Материалы и методы.** Для эксперимента подопытных животных разделили на две группы по 10 голов, учитывая их породу. В первую группу (I) включили бычков калмыцкой породы, а во вторую (II) – бычков русской комолой породы. Рационы для молодняка составляли с помощью программы «Корм Оптима Эксперт». В работе применяли стандартные зоотехнические методы. **Результаты и выводы.** Результаты исследования позволяют дать научно обоснованную характеристику хозяйственно-биологических особенностей исследуемого скота и качественных характеристик получаемой говядины. Данные исследования свидетельствуют о превосходстве русской комолой породы над калмыцкой по совокупности продуктивных и качественных показателей. У представителей русской комолой породы отмечены более высокие органолептические и биохимические свойства мышечной ткани. Анализ белкового компонента выявил у бычков данной породы более сбалансированный аминокислотный профиль, биологическая ценность которого достигла 85,4 %. Кроме того, в мышечной ткани этих животных зафиксирована интенсивная аккумуляция ключевых незаменимых аминокислот. Лабораторные исследования подтвердили, что мясная продукция обеих пород характеризуется полноценным содержанием основных микронутриентов.

Ключевые слова: *калмыцкая порода КРС, русская комолая порода КРС, характеристики пород КРС, продуктивные качества пород КРС, производство говядины, развитие мясного скотоводства.*

Цитирование. Мосолов А. А., Натыров А. К., Мосолова Д. А., Ахмадов Т. М., Горлов И. Ф. Сравнительный анализ продуктивных характеристик русской комолой и калмыцкой пород крупного рогатого скота. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 353-360. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-39.
Авторский вклад. Авторы принимали непосредственное участие в поведении экспериментов, анализе и интерпретации данных, полученных в ходе эксперимента.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Рост объемов производства продукции животноводства в стране по-прежнему остается одной из важнейших нерешенных задач. Обнадеживает лишь тот факт, что в последнее время просматривается тенденция к росту производства говядины, телятины. Среднегодовые значения наращивания производства мяса крупного рогатого скота сейчас достигли 15,7 %. По данным Росстата, в 2026 году на россиянина приходилось 83 кг мяса при норме потребления 85 кг. Об этом говорят и результаты исследования ФГБНУ

«ФИЦ питания и биотехнологии» (Ибрагимов А. Г. с соавт., 2022) [6]. Вот только в суммарном показателе доминирующие показатели приходятся на свинину и птицу. Говядина в общем объеме производства мяса в 2025 году занимала лишь 13,3 %, в натуральных цифрах это 11,57 млн тонн.

В связи с этим, существует потребность развивать часть скотоводства, нацеленную на производство мяса крупного рогатого скота, в том числе для сокращения импортозависимости (Амерханов Х. А., 2022; Бастрыкина Е. А. с соавт., 2022; Горлов И. Ф. с соавт., 2022; 2023; Минаков А. В., 2025) [1; 2; 3; 4; 8].

Известно, что интенсификация животноводства остается главнейшим способом увеличения объемов производства мяса, в том числе и говядины. Научные данные подтверждают, что отечественные породы крупного рогатого скота обладают преимуществом по ряду параметров, в том числе по адаптационной способности. Именно совершенствование животных в этом направлении должно стать ключевым драйвером роста животноводческой отрасли (Горлов И. Ф. с соавт., 2022, Черников Е. В. с соавт., 2025) [5; 9; 10; 11; 12]. При этом необходимо учитывать, что пищевая ценность говядины определяется гармоничностью ее аминокислотного профиля (Макаев Ш. А., 2020) [7]. В связи с этим в основу нашей работы лег комплексный анализ продуктивных и биологических особенностей бычков калмыцкой и русской комолой пород, выращиваемых в условиях Нижнего Поволжья.

Цель исследования – установить взаимосвязь породной принадлежности скота, уровня его продуктивности, а также показателей химического состава и аминокислотного профиля мяса. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: исследовать породные особенности бычков на ключевые показатели откорма, качество мяса, аминокислотный состав мускулатуры, аминокислотный скор и индекс пищевой ценности белка сверстников калмыцкой и русской комолой пород, а также изучить взаимосвязь ростовой энергии с концентрацией эссенциальных аминокислот в мясе.

Материалы и методы исследований. В ходе исследований, базой которых стало крестьянско-фермерское хозяйство ООО «Русская комолая» Старополтавского района Волгоградской области, организованное в 2023 году, проведено изучение динамики роста и развития двух групп восьмимесячных бычков разных пород. Для проведения эксперимента по принципу породной принадлежности были сформированы две группы животных численностью по 10 голов в каждой. В первую группу (I) вошли бычки калмыцкой породы, во вторую (II) – бычки русской комолой породы. Рационы питания молодняка в этих группах разрабатывались на базе программного комплекса «Корм Оптима Эксперт». Основным фактором являлось обеспечение среднесуточных приростов живой массы в пределах 1000 г на голову. Содержание опытного поголовья осуществлялось на открытых площадках. Генетический профиль подопытных бычков предварительно изучался в комплексной аналитической лаборатории Поволжского НИИ производства и переработки мясомолочной продукции.

Для объективной оценки темпов роста и развития бычков ежемесячно проводилось индивидуальное взвешивание всех животных в обеих опытных группах. На основе этих данных вычислялись показатели абсолютного и среднесуточного прироста живой массы. Мясная продуктивность оценивалась по результатам контрольного убоя, который проводился по достижении подопытным молодняком 16-месячного возраста. Для убоя из каждой группы случайным образом было отобрано по 3 головы, что полностью соответствовало методическим рекомендациям ВИЖ.

Обработка и анализ экспериментальных данных выполнялись с помощью программных пакетов Microsoft Excel и Statistica 6.0. Для сравнения показателей между группами применялся t-критерий Стьюдента. В работе использовались следующие обозначения: M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка среднего. Различия считались статистически значимыми при уровнях $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$ и $P \leq 0,001$.

Результаты и обсуждение. Как следует из анализа динамики живой массы, животные второй группы на протяжении всего периода наблюдения превосходили сверстников из первой группы. Преимущество было статистически подтверждено: к 10-месячному возрасту разница составила 7,28 кг ($P \leq 0,05$), к 12 месяцам – 10,41 кг ($P \leq 0,01$), а к моменту завершения опыта в 16 месяцев достигла максимума – 12,38 кг ($P \leq 0,001$). Суммарный прирост за период с 8 до 16 месяцев у животных второй группы был выше на 3,38 %, ($P \leq 0,001$), составив 221,74 кг. Таким образом, сравнительный анализ показал, что абсо-

лютные и среднесуточные приросты живой массы у бычков русской комолой породы были выше, чем у аналогов калмыцкой породы (на рисунках 1 и 2 представлены подопытные бычки в 16-месячном возрасте).

Рисунок 1 – Подопытные бычки калмыцкой породы
Figure 1 – Experimental Kalmyk breed bulls

Рисунок 2 – Подопытные бычки русской комолой породы
Figure 2 – Experimental Russian Hornless breed bulls

Анализируя итоги контрольного убоя, установлено, что туши подопытных бычков этих двух групп демонстрируют высокие показатели. Тем не менее, молодняк русской комолой породы показал достоверно лучшие параметры убойного выхода. Их туши по массе опережали этот показатель бычков калмыцкой породы на 10,87 кг, т. е. на 4,28 % ($P \leq 0,01$), при этом масса висцерального жира во второй группе превышала калмыцких животных на 0,98 кг. Повышенный выход туш также зарегистрирован у бычков русской комолой породы (рисунок 3).

Как известно, главным индикатором мясной продуктивности животных остается морфологический состав туши. Анализ полученных данных позволяет заключить, что туши бычков русской комолой породы демонстрируют превосходство по показателю выхода мякоти, превышая аналогичный показатель калмыцких сверстников на 3,26 %.

1 2

Рисунок 3 – Туши подопытных бычков и микроструктура длиннейшего мускула спины:
1) калмыцкой породы; 2) русской комолой породы
Figure 3 – Carcasses of experimental bulls and microstructure of the longest muscle of the back:
1) Kalmyk breed; 2) Russian Hornless breed

Экспериментальные исследования подтвердили существенное влияние породы молодняка крупного рогатого скота на характеристики мясной продукции. Сравнительный анализ проб мяса, отобранных после контрольного убоя, выявил статистически значимые различия ($P \leq 0,05$) по химическому составу. В частности, исследования показали, что в мясе бычков русской комолой породы содержание сухого вещества и белка было выше на 2,18 и 1,11 % соответственно по сравнению с аналогичными показателями у животных калмыцкой породы.

Общепризнано, что биологическая ценность мяса, определяемая белково-качественным показателем (БКП), напрямую зависит от сбалансированности аминокислотного состава. Установлено, что мясо животных второй группы (русская комолая порода) характеризуется максимальной концентрацией триптофана – 446,14 мг/100 г, что превосходит показатели первой группы (калмыцкая порода) на 1,18 %.

Ключевым критерием биологической ценности мяса служит оптимальное соотношение незаменимых аминокислот, а базовым индикатором этого баланса выступает аминокислотный скор. Анализ данных выявил существенные различия в профиле белка между сравниваемыми группами. Так, у подопытных бычков калмыцкой породы зафиксирован наиболее высокий скор по валину – 88,4 %, что на 3,7 % превосходит показатель второй группы. В то же время по содержанию изолейцина лидирует молодняк второй группы (русская комолая порода): этот показатель здесь на 5,4 % больше, чем у аналогов калмыцкой породы.

Как показали исследования, благодаря более сбалансированному аминокислотному составу, мясо русской комолой породы обладает более высокой биологической ценностью – 84,8 %, что превышает показатель калмыцкой породы на 1,1 %. У представителей

калмыцкой породы, несмотря на высокий уровень отдельных аминокислот (лизина и триптофана), наблюдалась незначительная диспропорция, что привело к снижению итогового значения.

Проведённый дополнительный статистический анализ позволил выявить достоверную положительную корреляцию между интенсивностью прироста живой массы животных и концентрацией эссенциальных аминокислот в мышечной ткани. Наиболее сильная и статистически значимая взаимосвязь была установлена для лизина и триптофана, что свидетельствует о ключевой роли данных аминокислот в регуляции анаболических процессов и формировании мышечной массы. Корреляция с содержанием других незаменимых аминокислот также носила положительный характер, однако сила этой связи была существенно ниже, что указывает на дифференцированный вклад отдельных аминокислот в ростовые показатели.

Полученные результаты согласуются с данными современной научной литературы по оценке мясной продуктивности сельскохозяйственных животных. В частности, выводы настоящего исследования согласуются с результатами, опубликованными М. М. Садыковым и соавторами (2020), которые также отмечали высокую значимость лизина и триптофана для формирования мышечной ткани и прироста массы у исследуемых пород.

В связи с тем, что мясо является одним из основных источников эссенциальных микроэлементов, играющих ключевую роль в каталитических и регуляторных функциях организма, в своих исследованиях мы изучили минеральный состав говядины.

Результаты комплексного анализа проб мышечной ткани, отобранных при контрольном убое молодняка калмыцкой и русской комолой пород, свидетельствуют о высоком содержании макро-и микроэлементов. Анализ химического состава говядины, полученной от молодняка изучаемых пород, выявил высокое содержание эссенциальных микроэлементов. В 100 г продукта содержится 2,9 мг железа, 178 мкг меди, 7,8 мкг хрома, 10,8 мкг молибдена и 8,2 мкг кобальта. Таким образом, минеральный состав мяса у обеих опытных групп отличается высокой степенью однородности, что свидетельствует о стабильности показателей и отсутствии существенных различий между отдельными образцами. При этом содержание основных макро- и микроэлементов в мышечной ткани животных полностью соответствует действующим физиологическим нормам, разработанным для данного вида и возрастной категории. Такой баланс минералов подтверждает, что рационы кормления и условия содержания были подобраны оптимально, обеспечивая не только продуктивность, но и высокое качество мясной продукции с точки зрения пищевой и биологической ценности. Однако статистическая обработка данных не выявила достоверных различий в содержании эссенциальных микроэлементов между сравниваемыми породами, что подтверждает их биологическую эквивалентность по данному показателю.

Заключение. Результаты проведённого эксперимента свидетельствуют о статистически значимом превосходстве откормочного молодняка русской комолой породы (II группа) над молодняком калмыцкой породы (I группа). Это преимущество было объективно подтверждено данными контрольного убоя, проведённого по достижении подопытными животными 16-месячного возраста. Сравнительный анализ показал, что бычки русской комолой породы обладали более высокими убойными показателями и улучшенными качественными характеристиками мяса. В частности, мясо этой породы характеризовалось повышенным содержанием незаменимых аминокислот. Оценка биологической ценности белка подтвердила наличие у русской комолой породы более сбалансированного аминокислотного профиля по сравнению с калмыцким скотом.

Таким образом, целенаправленная стимуляция биосинтеза и накопления лимитирующих аминокислот (лизина и триптофана) в мышечной ткани посредством балансирования рационов может рассматриваться как эффективный зоотехнический приём для повышения интенсивности роста молодняка.

Проведённые лабораторные исследования подтвердили высокую пищевую ценность мясного сырья, полученного от бычков обеих пород. Анализ выявил присутствие в составе мяса всех необходимых эссенциальных микроэлементов в концентрациях, достаточных для обеспечения физиологической значимости продукта. При этом статистически достоверных различий в содержании этих нутриентов между мясом скота разных пород установлено не было.

Полученные экспериментальные данные согласуются с выводами, сформулированными нами ранее (2025 г.) при сравнении скота данных пород, разводимого в ООО «ВолгоДонАгро» Светлоярского района Волгоградской области.

Conclusions. The results of the experiment demonstrate a statistically significant superiority of fattening young Russian polled cattle (Group II) over young Kalmyk cattle (Group I). This advantage was objectively confirmed by data from a control slaughter conducted after the test animals reached 16 months of age. A comparative analysis revealed that Russian polled bulls had higher slaughter performance and improved meat quality. In particular, meat from this breed was characterized by a higher content of essential amino acids. An assessment of the biological value of protein confirmed that Russian polled cattle have a more balanced amino acid profile compared to Kalmyk cattle.

Thus, targeted stimulation of the biosynthesis and accumulation of limiting amino acids (lysine and tryptophan) in muscle tissue through balanced diets can be considered an effective zootechnical technique for increasing the growth rate of young cattle. Laboratory studies confirmed the high nutritional value of the meat obtained from bulls of both breeds. The analysis revealed the presence of all essential micronutrients in the meat in concentrations sufficient to ensure the product's physiological significance. However, no statistically significant differences in the content of these nutrients between the meat of cattle of the different breeds were found.

These experimental data are consistent with our previous findings (2025) when comparing cattle of these breeds bred at VolgoDonAgro LLC in the Svetloyarsky District of the Volgograd region.

Библиографический список

1. Амерханов Х. А. Сохранение и развитие генофондных пород сельскохозяйственных животных – основа продовольственной независимости России. Молочное и мясное скотоводство. 2022. № 6. С. 3-5.

2. Бастрыкина Е. А., Лозовая О. В., Ванюшина О. И. Анализ развития мирового и российского рынка мяса. Цифровая экономика: перспективы развития и совершенствования: сборник научных статей 3-й Международной научно-практической конференции. Курск, 2022. С. 64-68.

3. Горлов И. Ф., Бармина Т. Н., Кайдулина А. А., Бадмаева К. Е., Черников Е. В. Разработка и внедрение инновационных технологий в животноводстве для обеспечения населения высококачественными продуктами питания. Аграрно-пищевые инновации. 2022. № 4 (20).

4. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Николаев Д. В., Мирошник А. С., Мосолова Д. А., Черников Е. В., Карпенко Е. В. и др. Влияние породной принадлежности на мясную продуктивность бычков и биологическую ценность получаемой от них говядины. Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 3. С. 56-68.

5. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Николаев Д. В., Мирошник А. С., Мосолова Д. А., Черников Е. В. Влияние породной принадлежности бычков на морфологический состав туш и биологическую ценность говядины. Молочное и мясное скотоводство. 2023. № 2. С. 22-25.

6. Ибрагимов А. Г. и др. Развитие мясной отрасли в России: состояние и перспективы. Зоотехния. 2022. № 12. С. 26-29.

7. Макаев Ш. А. Аминокислотный состав длиннейшей мышцы спины бычков разных заводских линий казахской белоголовой породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (84). С. 261-266.

8. Минаков А. В. Экономика и бизнес: теория и практика. 2025. № 3 (121). С. 202-212.

9. Черников Е. В., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Карпенко Е. В, Мосолова Е. А. Продуктивные качества крупного рогатого скота русской комолой и калмыцкой пород в сравнении. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2025. № 4. С. 426-433.

10. Черников Е., Горлов И., Сложенкина М. Динамика живой массы скота русской комолой и калмыцкой пород. Животноводство России. 2026. № 3. С. 41-42.

11. Николаев Д. В., Суркова С. А., Квашнина М. А., Пономарев В. В., Гиро М. В. Современное состояние русской комолой породы в Волгоградской области. Аграрно-пищевые инновации. 2025. № 1 (29). С. 20-31.

12. Kayumov F. G., Shevlyuk N. N., Tretyakova R. F. Comparative morphological and functional characteristics of the muscle tissue of gobies of cattle of three breeds (Hereford, Kazakh White-Headed and Kalmyk). Earth and Environmental Science: International science and technology conference "Earth science". England: IOP Publishing, 2021. V. 666 (5). Art. 052020.

References

1. Amerhanov Kh. A. Conservation and development of gene pool breeds of farm animals as the basis for Russia's food independence. Dairy and beef cattle breeding. 2022. No. 6. Pp. 3-5.

2. Bastrykina E. A., Lozovaya O. V., Vanyushina O. I. Analysis of the development of the global and Russian meat market. Digital economy: prospects for development and improvement: collection of scientific articles from the 3rd International scientific and practical conference. Kursk, 2022. Pp. 64-68.

3. Gorlov I. F., Barmina T. N., Kaidulina A. A., Badmaeva K. E., Chernikov E. V. Development and implementation of innovative technologies in animal husbandry to provide the population with high-quality food products. Agrarian and food innovations. 2022. No. 4 (20).

4. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Nikolaev D. V., Miroshnik A. S., Mosolova D. A., Chernikov E. V., Karpenko E. V., et al. Influence of Breed on the Meat Productivity of Young Bulls and the Biological Value of Beef Obtained from Them. Animal Husbandry and Forage Production. 2022. Vol. 105. No. 3. Pp. 56-68.

5. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Nikolaev D. V., Miroshnik A. S., Mosolova D. A., Chernikov E. V. Influence of Breed on the Morphological Composition of Carcasses and the Biological Value of Beef. Dairy and Beef Cattle Breeding. 2023. No. 2. Pp. 22-25.

6. Ibragimov A. G. et al. Development of the meat industry in Russia: status and prospects. Zootechnics. 2022. No. 12. Pp. 26-29.

7. Makayev Sh. A. Amino acid composition of the longissimus dorsi muscle of bulls of different breeding lines of the Kazakh White-headed breed. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No. 4 (84). Pp. 261-266.

8. Minakov A. V. Economics and business: theory and practice. 2025. No. 3 (121). Pp. 202-212.
9. Chernikov E. V., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Karpenko E. V, Mosolova E. A. Productive qualities of Russian polled and Kalmyk cattle in comparison. News of the Lower Volga Agrarian University Complex. 2025. No. 4. Pp. 426-433.
10. Chernikov E., Gorlov I., Slozhenkina M. Live weight dynamics of Russian polled and Kalmyk cattle. Animal Husbandry of Russia. 2026. No. 3. Pp. 41-42.
11. Nikolaev D. V., Surkova S. A., Kvashnina M. A., Ponomarev V. V., Giro M. V. Current state of the Russian polled breed in the Volgograd region. Agrarian and food innovations. 2025. No. 1 (29). Pp. 20-31.
12. Kayumov F. G., Shevlyuk N. N., Tretyakova R. F. Comparative morphological and functional characteristics of the muscle tissue of gobies of cattle of three breeds (Hereford, Kazakh White-Headed and Kalmyk). Earth and Environmental Science: International science and technology conference "Earth science". England: IOP Publishing, 2021. V. 666 (5). Art. 052020.

Информация об авторах

Мосолов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400120, г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-4927-7065, e-mail: niimmp@mail.ru

Натыров Аркадий Канурович, доктор сельскохозяйственных наук, декан аграрного факультета, Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова (Российская Федерация, 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. А. С. Пушкина, 11), ORCID: 0000-0002-3219-0836, e-mail: natyrov_ak@mail.ru

Мосолова Дарья Александровна, соискатель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400120, г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6), ORCID: 0000-0002-5579-6726, e-mail: daria.mosolova8@gmail.ru

Ахмадов Турпалали Мовсарович, магистр, Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова (Российская Федерация, 358011, Республика Калмыкия, г. Элиста, улица А. С. Пушкина, 11), ORCID: 0009-0007-9474-4690, e-mail: niimmp@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400120, г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, 6); заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, Россия, г. Волгоград, пр. имени В. И. Ленина, 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Mosolov Aleksandr Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400120, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0000-0002-4927-7065, e-mail: niimmp@mail.ru

Natyrov Arkady Kanurovich, Doctor of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358011, Kalmykia Republic, Elista, A. S. Pushkin Str., 11), ORCID: 0000-0002-3219-0836, e-mail: natyrov_ak@mail.ru

Mosolova Darya Aleksandrovna, Applicant, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400120, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), ORCID: 0000-0002-5579-6726, e-mail: daria.mosolova8@gmail.ru

Akhmadov Turpalali Movsarovich, Student, B. B. Gorodovikov Kalmyk State University (Russian Federation, 358011, Kalmykia Republic, Elista, A. S. Pushkin Str., 11), ORCID: 0009-0007-9474-9690, e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production (Russian Federation, 400120, Volgograd, Marshal Rokossovsky Str., 6), Head of Department, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-40

THE COMPOUND FEED EFFECTIVENESS COMBINED WITH THE PHYTOEXTRACT IN THE BROILER CHICKENS FEEDING

Nurzhanov B. S., Rakhmatullin Sh. G., Duskaev G. K.

Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
Orenburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Received 18.02.2026 Submitted 30.04.2026

The study was conducted in accordance with the research plan for 2024-2026 of the Federal Research Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (No. FNWZ-2024-0002).

Summary

This article presents experimental data on the effects of Quercus cortex extract and a chlortetracycline-based antibiotic when added to the diet on feed efficiency and performance. It was found that the combined use of the test additives increased dry matter digestibility by 5.80 %, crude fat by 7.99 %, crude protein by 5.15 %, nitrogen-free extractives by 3.49 %, absolute live weight gain by 15.10 %, and slaughter yield by 5.50 % ($p \leq 0.01$) relative to the control.

Abstract

Introduction. There is worldwide concern that growth promoters may contribute to the emergence and selection of multidrug-resistant bacterial strains, as well as the presence of antibiotic residues in meat products and environmental pollution. As an alternative, some compounds such as plant extracts and phytochemicals have been proposed. The aim of the study was to investigate the effect of cortex Quercus extract and feed antibiotic when included in poultry diets on the efficiency of feed use and productivity. **Materials and methods.** The object of the study was broiler chickens of the Smena-8 cross, from which identical groups by live weight were formed using the pair-analogue method During the test period, broilers received complete feed (CFF), Group I received CFF + Cortex Quercus oak bark extract in a volume of 2.0 ml per kilogram of body weight, while Group II received CFF + antibiotic (Biovit) – 0.63 g/kg, and Group III received CFF + Cortex Quercus oak bark extract in a volume of 2.0 ml per kilogram of body weight + antibiotic (Biovit) – 0.63 g/kg. The study used industrial compound feed developed by the closed joint-stock company Orenburg Poultry Farm, including crushed corn and wheat grain, sunflower and soybean meal, and a premix. **Results and conclusions.** Birds fed compound feed with a phytoextract and antibiotic had better macronutrient digestibility than the control, resulting in a 7.29 % difference in dry matter content, 4.27 % in organic matter, 8.34 % in crude fat, 6.7 % in crude protein (CP), and 5.56 % in nitrogen-free extractives. Moreover, broilers in groups II and III during the growth period of the experiment better digested dry matter by 3.74 and 5.80 %, crude fat by 5.28 and 7.99 %, crude protein by 4.09 and 5.15 %, and nitrogen-free extractive substances by 1.96 and 3.49 %, respectively, compared to their counterparts in the control group. It was found that their combined use in poultry diets contributes to an increase in feed intake by 4.64 %, average daily live weight by 15.09 %, and absolute weight gain by 15.10 %. The lowest slaughter yield was characterized by poultry from the control group, which was inferior to their peers from the experimental groups by 4.21 %, 5.28 %, and 5.50 %, respectively ($p \leq 0.01$).

Keywords: *broiler chickens feeding, broiler chicken diets, feed antibiotics, plant-based feed additives, components of broiler chicken diets.*

Citation. Nurzhanov B. S., Rakhmatullin Sh. G., Duskaev G. K. The compound feed effectiveness combined with the phytoextract in the broiler chickens feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 360-367 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-40.

Authors' contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, conduct of the experiment, and analysis of the results. The authors of this article have reviewed and approved the final version.

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

УДК 636.5.033:636.085.55

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИКОРМА ЦЫПЛЯТАМИ-БРОЙЛЕРАМИ НА ФОНЕ СКАРМЛИВАНИЯ ФИТОЭКСТРАКТА

Нуржанов Б. С., *доктор сельскохозяйственных наук*
Рахматуллин Ш. Г., *кандидат биологических наук*
Дускаев Г. К., *доктор биологических наук, доцент*

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Ран»
г. Оренбург, Российская Федерация

Исследование выполнено в соответствии с планом НИР за 2024-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0002).

Актуальность. Во всем мире существует обеспокоенность по поводу того, что стимуляторы роста могут способствовать появлению и отбору штаммов бактерий с множественной лекарственной устойчивостью, а также из-за наличия химических веществ в мясных продуктах и загрязнения окружающей среды. В качестве альтернативы были предложены некоторые соединения, такие как растительные экстракты и фитохимические вещества. Цель исследования – изучить влияние экстракта cortex Quercus и кормового антибиотика при включении их в рационы птиц, на эффективность использования комбикормов и продуктивность. **Материалы и методы.** Объектом исследования выступали цыплята-бройлеры кросса «Смена-8». В течение испытательного периода бройлеры получали полнорационный комбикорм (ОР), I группа получала ОР + экстракт коры дуба *Cortex Quercus* в объеме 2,0 мл на килограмм веса тела, тогда как II группа – ОР +антибиотик (Биовит) - 0,63 г/кг, третья группа – ОР + экстракт коры дуба *Cortex Quercus* в объеме 2,0 мл на килограмм веса тела + антибиотик (Биовит) – 0,63 г/кг. В ходе исследования использовался индустриальный комбикорм, разработанный в закрытом акционерном обществе «Птицефабрика Оренбургская», включающий в себя дробленое зерно кукурузы и пшеницы, шрот: подсолнечный и соевый, а также премикс. **Результаты и выводы.** Птица, поедавшая комбикорм совместно с фитоэкстрактом и антибиотиком, имела лучшую усвояемость макронутриентов относительно контроля, в результате чего разница в содержании сухого вещества составила 7,29 %, органического 4,27 %, сырого жира 8,34 %, сырого протеина (СП) – на 6,7 % и безазотистых экстрактивных веществ – 5,56 %. При этом бройлеры II и III групп в росто-

вой период опыта лучше переваривали сухое вещество на 3,74 и 5,80 %, сырой жир – на 5,28 и 7,99 %, сырой протеин – 4,09 и 5,15 %, безазотистые экстрактивные вещества – на 1,96 и 3,49 % соответственно в сравнении с аналогами контрольной группы. Установлено, что совместное использование их в рационах птицы способствует увеличению поедаемости комбикормов на 4,64 %, среднесуточной живой массы на 15,09 % и абсолютного прироста – 15,10 %. Наименьшим убойным выходом характеризовалась птица из контроля, которая уступала сверстникам из опытных групп соответственно на 4,21 %, 5,28 и 5,50 % ($p \leq 0,01$).

Ключевые слова: *кормление цыплят-бройлеров, рационы цыплят-бройлеров, кормовые антибиотики, растительные кормовые добавки, компоненты рационов цыплят-бройлеров.*

Цитирование. Нуржанов Б. С., Рахматуллин Ш. Г., Дускаев Г. К. Эффективность использования комбикорма цыплятами-бройлерами на фоне скармливания фитоэкстракта. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 360-367. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-40.

Авторский вклад. Все авторы проведенного исследования принимали непосредственное участие в планировании, проведении эксперимента и анализе полученных результатов. Авторы данной статьи ознакомлены с окончательным её вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последнее время повышенное внимание к безопасности пищевых продуктов и здоровому питанию привело к росту интереса к использованию кормовых добавок для животных и птиц. В данных обстоятельствах разработка альтернативного высокопроизводительного компонента рациона, который мог бы вытеснить классические ускорители развития животных, стала первостепенной целью для мясомолочной индустрии в ведущих аграрных державах. В свою очередь растительные экстракты, пробиотики, подкислители, антимикробные пептиды и другие пищевые добавки получили широкое распространение в птицеводстве для борьбы с заражением патогенами и улучшения показателей роста [17, 9, 8, 16].

Исследования показали, что эти добавки обладают множеством биологических свойств, таких как антиоксидантное, антибактериальное, гипогликемическое действие и способность снижать уровень липидов в крови, а значит, играют важную роль в регулировании иммунитета и роста животных. Растительные экстракты и антибиотики оказывают множество эффектов, в том числе улучшают продуктивные показатели птицы, предотвращают заражение болезнями, укрепляют здоровье организма и так далее [7, 14].

Многие антибиотики обладают бактериостатическими свойствами, то есть они только подавляют популяцию бактерий, тогда как другие обладают бактерицидными свойствами и убивают бактерии. Оба типа антибиотиков доступны на рынке, однако лишь немногие из них были тщательно исследованы для использования в животноводстве [5, 13]. Неправильное и чрезмерное использование антибиотиков в животноводстве индуцировало устойчивость патогенных бактерий к антибиотикам. Таким образом, резистентность является механизмом защиты микроорганизмов от антибиотиков, и выявление нереагирующих на антибиотические вещества бактерий является серьезной проблемой, влияющей на способность препаратов нейтрализовывать попавшие в организм патогены [12, 15]. В связи с этим существует острая потребность в комбинированных препаратах, не вызывающих лекарственную устойчивость, компоненты которых являются доминирующими и взаимоусиливающими [6, 11, 18, 19].

Цель исследования – изучить влияние экстракта cortex Quercus и кормового антибиотика при включении их в рационы цыплят-бройлеров, на эффективность использования комбикормов и продуктивность.

Задачи:

- оценить поедаемость стартового и ростового комбикорма и уровень усвоения питательных компонентов;
- изучить воздействие испытуемых кормовых добавок на изменение веса тела молодняка птицы;
- оценить мясную продуктивность цыплят-бройлеров после добавления в их питание экстракта коры дуба и антибактериального препарата.

Материалы и методы. Место проведения исследования – виварий и Центр коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (https://ckp-rf.ru/ckp/77384/).

В рамках данного научного анализа изучались цыплята бройлерного кросса «Смена-8», общее число особей составило 180; они распределялись на четыре равные группы по весовому критерию (разница ±1-2 г) посредством метода пар аналогов. С 7 по 10 день

жизни птенцам давали предстартовый комбикорм ПК-0, затем до 24 дня – стартовый ПК-5, и начиная с 25-го – ростовой ПК-6. В ходе исследования использовался промышленный комбикорм, разработанный в закрытом акционерном обществе «Птицефабрика Оренбургская», включающий в себя дробленное зерно кукурузы и пшеницы, шрот: подсолнечный и соевый, а также премикс. В учетный период опыта птица получала основной рацион (ОР), I группа получала ОР + экстракт коры дуба *Cortex Quercus* в объеме 2,0 мл на килограмм веса тела, тогда как II группа – ОР +антибиотик (Биовит) – 0,63 г/кг, третья группа – ОР + экстракт коры дуба *Cortex Quercus* в объеме 2,0 мл на килограмм веса тела + антибиотик (Биовит) – 0,63 г/кг. Кормовой антибиотический препарат с целью профилактики заболеваемости задавали 1 раз в сутки в течение 5-20 дней.

Корма, экскременты и другие биологические субстраты исследовались стандартными методами на оборудовании ЦКП ФНЦ БСТ РАН (RU № 000121 ПФ59). Питание птицы происходило ежедневно – утром и во второй половине дня, строго следуя установленным нормам. Ежедневно отслеживали остатки комбикорма, учитывая возрастные характеристики птиц. Доступ к воде был свободным. Проверка индивидуального развития осуществлялась посредством измерения веса каждого молодняка до утренней подачи корма. По результатам ежедневного взвешивания рассчитывали абсолютные и среднесуточные привесы.

Количество поступивших в организм жизненно-необходимых веществ оценивали по итогам повседневного мониторинга потребления кормов и комплексной оценки их качественного состава. Для передачи в лабораторию проб экскрементов брали по 10 % из суточной массы от каждой группы и помещали в герметичные банки за каждый день балансового эксперимента. Образцы экскрементов сохранялись при охлаждении от 2 до 5 градусов Цельсия. После завершения балансовой проверки образцы подвергались всестороннему зооветеринарному анализу, который позволял оценить усвояемость кормов через ключевые показатели.

После завершения экспериментов производили убой птиц (n = 5) достигших возраста 42 дней. Измеряли вес бройлеров до убоя, потрошенную и полупотрошеную массу тушки, желудочно-кишечный тракт и его содержимое, перьев, головы, шеи, лап и всех внутренних органов.

Для статистической обработки данных использовалась программа "Statistica 10 RU".

Результаты и обсуждение. На начало эксперимента птица в анализируемых группах была выравнена по живой массе (таблица 1).

Таблица 1 – Изменения живой массы бройлеров, г/гол
Table 1 – Changes in live weight of broilers, g/ individual

Сутки / Day	Контрольная (ОР) / control (staple diet)	I опытная (ОР + Экстракт) / I experimental (staple diet + Extract)	II опытная (ОР + Биовит) / II experimental (staple diet + Biovit)	III опытная (ОР + Экстракт + Биовит) / III experimental (staple diet + Extract + Biovit)
7	167,60 ± 6,2	167,60 ± 7,3	167,60 ± 7,0	167,60 ± 7,3
14	344,00 ± 12,6	352,80 ± 7,8	365,20 ± 11,4	376,00 ± 16,7
21	638,80 ± 32,3	674,80 ± 18,6	705,60 ± 14,7*	758,40 ± 36,4**
28	1 122,80 ± 45,7	1 127,20 ± 15,9	1 210,00 ± 35,0	1 294,80 ± 36,3**
35	1 682,80 ± 68,7	1 632,40 ± 18,7	1 782,00 ± 35,9	1 886,40 ± 59,7**
42	2 273,20 ± 92,7	2 474,00 ± 31,7	2 395,20 ± 73,3	2 587,60 ± 85,6**

** – P ≤ 0,05; ** – P ≤ 0,01 в сравнении с контрольной группой.*
** – P≤0.05; ** – P≤0.01 in comparison with the control group.*

В 21-суточный возраст молодняк из контроля по живой массе уступал сверстникам из опытных групп на 5,63 %, 10,4 и 18,72 % (p ≤ 0,01). К концу эксперимента данная тенденция усилилась: так, бройлеры, получавшие с основным рационом комбинацию экстракта и кормового антибиотика, превосходили аналогов из контроля, I и II групп соответственно на 314,4 г (13,83 %), 113,6 г (4,59 %) и 200,8 г (8,83 %).

За период опыта интенсивнее росли бройлеры из III группы, так они превосходили аналогов из контроля по среднесуточному приросту живой массы на 15,09 %, абсолютному приросту – 15,10 %, поедаемости кормов – на 4,64 % (таблица 2).

Таблица 2 – Основные производственные показатели, г/гол
Table 2 – Main production indicators, g/head

Группа / Group	ССП / API	АП / AI	Поедаемость / Palatability	Расход, кг / Consumption, kg
Контрольная (ОР) / control (staple diet)	60,07 ± 3,1	2 102,40 ± 107,0	3 815,40 ± 194,2	1,815
I опытная (ОР + Экстракт) / I experimental (staple diet + Extract)	65,90 ± 0,9	2 306,40 ± 31,7	3 941,00 ± 54,2	1,709
II опытная (ОР + Биовит) / II experimental (staple diet + Biovit)	63,65 ± 2,1	2 227,60 ± 73,3	3 767,00 ± 123,9	1,691
III опытная (ОР + Экстракт + Биовит / III experimental (staple diet + Extract + Biovit)	69,14 ± 2,4*	2 420,00 ± 85,6*	3 992,47 ± 141,3	1,650

Примечание: ССП – среднесуточный прирост; АП – абсолютный прирост.
Note: API – average daily increase; AI – absolute increase.

Птица из контрольной группы уступала аналогам, получавшим испытуемые добавки по расходу комбикорма соответственно на 5,84 %, 6,83 и 9,09 %. Эксперименты Burt S. (2004) по антимикробной активности добавок растительного происхождения продемонстрировали, что они могут быть очень полезны в качестве кормовых средств для домашней птицы [4].

Переваримость комбикормов в стартовый период повысилась во всех группах, которым дополнительно скармливали изучаемые добавки (рисунок 1).

Птица, поедавшая комбикорм совместно с фитоэкстрактом и антибиотиком, имела лучшую усвояемость макронутриентов относительно контроля, в результате чего разница в содержании сухого вещества (СВ) составила 7,29 %, органического (ОР) 4,27 %, сырого жира (СЖ) 8,34 %, сырого протеина (СП) – на 6,7 % и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) – 5,56 %.

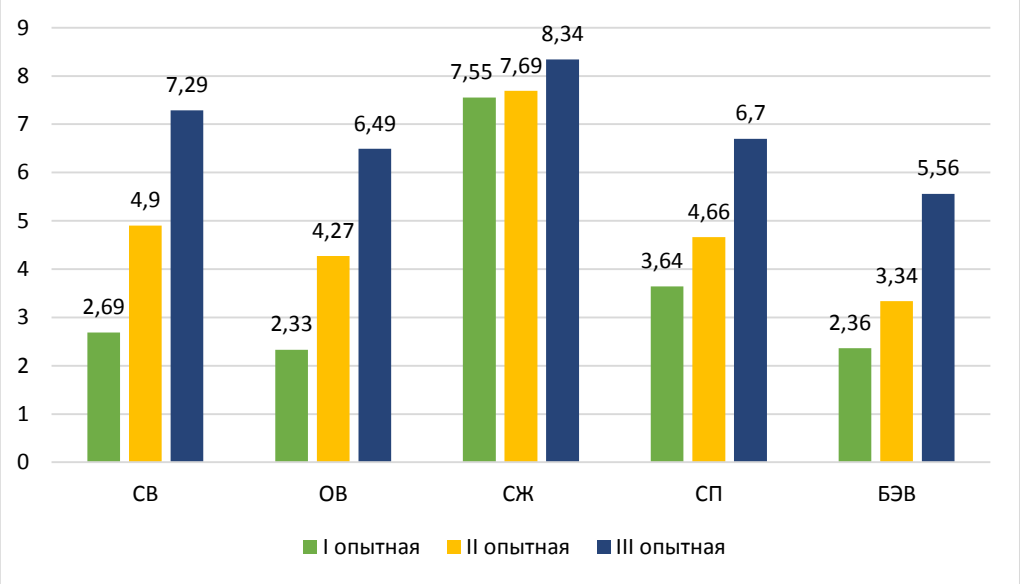


Рисунок 1 – Динамика переваримости основных веществ относительно контроля (старт), %
Figure 1 – Dynamics of digestibility of the main substances relative to the control (start), %

Исследователи за рубежом сообщали об аналогичных результатах при использовании сочетания растительных веществ и антибактериальных средств для оптимизации процесса усвоения пищи в тонкой кишке у 21-дневной, 35 и 42 дневной птицы [3, 2].

В ростовой период эксперимента опытная птица имела преимущество в показателях усвоения ключевых компонентов рациона по сравнению с базовым уровнем (рисунок 2).

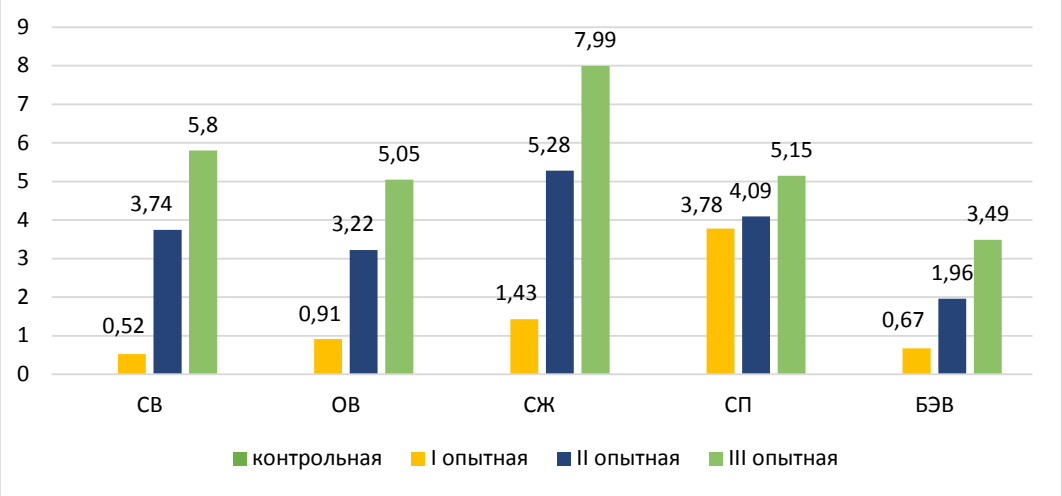


Рисунок 2 – Динамика коэффициентов переваримости питательных веществ по отношению к контрольной группе (рост), %
Figure 2 – Dynamics of nutrient digestibility coefficients in relation to the control group (growth), %

При этом бройлеры II и III групп лучше переваривали СВ на 3,74 и 5,80 % ($p \leq 0,05$), СЖ – 5,28 и 7,99 % ($p \leq 0,01$), СП – 4,09 и 5,15 %, безазотистые экстрактивные вещества – на 1,96 и 3,49 % соответственно в сравнении с аналогами контрольной группы.

Опытный молодняк, получавший испытуемые добавки к основному рациону, рос более интенсивно и от них были получены более тяжелые тушки относительно контроля (таблица 3).

Так, сверстники из I, II и III групп превосходили птицу из контроля по массе потрошенной тушки соответственно на 15,7 %, 13,81 и 23,30 % ($p \leq 0,001$), по массе мышц на 22,35 %, 16,49 и 29,59 %.

Таблица 3 – Результаты контрольного убоя, г/гол (n=5)
Table 3 – Results of control slaughter, g/head (n=5)

Показатель / Indicator	Контрольная (ОР) / control (staple diet)	I опытная (ОР + Экстракт) / I experimental (staple diet + Extract)	II опытная (ОР + Биовит) / II experimental (staple diet + Biovit)	III опытная (ОР + Экстракт + Биовит) / III experimental (staple diet + Extract + Biovit)
Предубойная живая масса / Pre-slaughter live weight	2 273,20 ± 92,72	2 474,00 ± 31,74	2 395,20 ± 73,26	2 587,60 ± 85,65*
Потрошенная тушка / Gutted carcass	1 454,00 ± 87,48	1 682,40 ± 31,34*	1 654,80 ± 57,15	1 792,80 ± 59,26**
Мышечная ткань / Muscle tissue	906,93 ± 67,93	1 109,66 ± 14,53*	1 056,57 ± 45,02	1 175,30 ± 47,56**
Отношение съедобной части к несъедобной / Edible to inedible ratio	2,29 ± 0,07	2,54 ± 0,13	2,36 ± 0,11	2,41 ± 0,05
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	63,78 ± 1,61	67,99 ± 0,70*	69,06 ± 0,45**	69,28 ± 0,04**

Наименьшим убойным выходом характеризовалась птица из контроля, которая уступала сверстникам из опытных групп соответственно на 4,21 %, 5,28 и 5,50 % ($p \leq 0,01$). Схожие данные были получены в исследованиях Alcicek A., Bozkurt M., Çabuk M. (2003). Они сообщили, что комбинация веществ, извлеченных из различных трав, выращенных в Турции, в дозе 24, 48 и 72 мг/кг рациона улучшала прирост массы тела, потребление корма (за исключением 42-дневного рациона), коэффициент конверсии корма и выход тушек в 21 и 42-дневном рационе [1].

Выводы. Проведенное исследование показывает, что кормовая добавка из экстракта *cortex Quercus* и биовита в сочетании увеличивает среднесуточный и абсолютный прирост массы за счет улучшения эффективности использования корма. Полученные нами результаты способствуют более глубокому пониманию потенциальных механизмов, с помощью которых совместное использование экстракта и *антибиотика* может улучшить переваримость на 5,80 % и продуктивность цыплят-бройлеров на 13,83 %.

Conclusions. The study demonstrates that a feed supplement consisting of Quercus cortex extract and Biovit, when combined, increases average daily and absolute weight gain by improving feed efficiency. Our results provide a deeper understanding of the potential mechanisms by which the combined use of the extract and antibiotic can improve digestibility by 5.80 % and performance by 13.83 % in broiler chickens.

Библиографический список

1. Alcicek A., Bozkurt M., Çabuk M. The effect of an essential oil combination derived from selected herbs growing wild in Turkey on broiler performance. S. Afr. J. Anim. Sci. 2003. No 33. Pp. 89-94.
2. Khadem A. et al. Growth promotion in broilers by both oxytetracycline and Macleaya cordata extract is based on their anti-inflammatory properties. Br J Nutr. 2014. V. 14. No 112 (7). Pp. 1110-1118.
3. Amad A. A., Männer K., Wendler K. R., Neumann K., Zentek J. Effects of a phytogenic feed additive on growth performance and ileal nutrient digestibility in broiler chickens. Poult Sci. 2011. No 90. Pp. 2811-2816.
4. Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: the review. Int. J. Food Microbiol. 2004. No 94. Pp. 223-253.
5.Carvalho I. T., Santos L. Antibiotics in the aquatic environments: a review of the European scenario. Environ. Int. 2016. No 94. Pp. 736-757.
6. Deryabin D., Inchagova K., Rusakova E., Duskaev G. Coumarin's anti-quorum sensing activity can be enhanced when combined with other plant-derived small molecules. Molecules. 2021. V. 26. No 1.
7. Fei Wang, Peng Zou, Shujie Xu, Qi Wang, et al. Dietary supplementation of Macleaya cordata extract and Bacillus in combination improve laying performance by regulating reproductive hormones, intestinal microbiota and barrier function of laying hens. J. Anim. Sci. Biotechnol. 2022. V. 13. No 118.
8. Gao C. Q., Shi H. Q., Xie W. Y., Zhao L. H., Zhang J. Y., Ji C. et al. Dietary supplementation with acidifiers improves the growth performance, meat quality and intestinal health of broiler chickens. Anim Nutr. 2021. No 7 (3). Pp. 762-769.
9. Gao P., Ma C., Sun Z., Wang L., Huang S., Su X., et al. Feed-additive probiotics accelerate yet antibiotics delay intestinal microbiota maturation in broiler chicken. Microbiome. 2017. V. 5 (1). No 91.
10. Grashorn M. A. Use of phytobiotics in broiler nutrition-an alternative to infeed antibiotics. J. Anim. Feed. Sci. 2010. No 19. Pp. 338-347.
11. Inchagova K. S., Duskaev G. K., Deryabin D. G. Quorum sensing inhibition in chromobacterium violaceum by amikacin combination with activated charcoal or small plant-derived molecules (pyrogallol and coumarin). Microbiology. 2019. No 88 (1). Pp. 63-71.
12. Khameneh B., Diab R., Ghazvini K., Fazly Bazzaz B. S. Breakthroughs in bacterial resistance mechanisms and the potential ways to combat them. Microb. Pathog. 2016. No 95. Pp. 32-42.
13. Kohanski M. A., Dwyer D. J., Collins J. J. How antibiotics kill bacteria: from targets to networks. Nat. Rev. Microbiol. 2010. No 8. Pp. 423-435.
14. Li B., Zhang J. Q., Han X. G., Wang Z. L., Xu Y. Y., Miao J. F. Macleaya cordata helps improve the growth-promoting effect of chlortetracycline on broiler chickens. J Zhejiang Univ Sci B. 2018. No 19 (10). Pp. 776-784.
15. Marquardt R. R., Li S. Antimicrobial resistance in livestock: advances and alternatives to antibiotics. Anim. Front. 2018. No 8. Pp. 30-37.
16. Silveira R. F., Roque-Borda C. A., Vicente E. F. Antimicrobial peptides as a feed additive alternative to animal production, food safety and public health implications: An overview. Anim Nutr. 2021. No 7 (3). Pp. 896-904.
17. Varmuzova K., Matulova M. E., Gerzova L., Cejkova D., Gardan-Salmon D., Panheleux M. et al. Curcuma and Scutellaria plant extracts protect chickens against inflammation and Salmonella Enteritidis infection. Poult Sci. 2015. No 94 (9). Pp. 2049-2058.
18. Yausheva E., Kosyan D., Duskaev G., Kvan O., Rakhmatullin S. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine. Biointerface Research in Applied Chemistry. 2019. No 9 (4). Pp. 4168-4171.
19. Буяров В. С., Червонова И. В., Меднова В. В., Ильичева И. Н. Эффективность применения фитобиотиков в птицеводстве. Вестник аграрной науки. 2020. № 3 (84). С. 44-59.

References

1. Alcicek A., Bozkurt M., Çabuk M. The effect of an essential oil combination derived from selected herbs growing wild in Turkey on broiler performance. S. Afr. J. Anim. Sci. 2003. No 33. Pp. 89-94.
2. Khadem A. et al. Growth promotion in broilers by both oxytetracycline and Macleaya cordata extract is based on their anti-inflammatory properties. Br J Nutr. 2014. V. 14. No 112 (7). Pp. 1110-1118.
3. Amad A. A., Männer K., Wendler K. R., Neumann K., Zentek J. Effects of a phytogenic feed additive on growth performance and ileal nutrient digestibility in broiler chickens. Poult Sci. 2011. No 90. Pp. 2811-2816.
4. Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: the review. Int. J. Food Microbiol. 2004. No 94. Pp. 223-253.
5. Carvalho I. T., Santos L. Antibiotics in the aquatic environments: a review of the European scenario. Environ. Int. 2016. No 94. Pp. 736-757.
6. Deryabin D., Inchagova K., Rusakova E., Duskaev G. Coumarin's anti-quorum sensing activity can be enhanced when combined with other plant-derived small molecules. Molecules. 2021. V. 26. No 1.

7. Fei Wang, Peng Zou, Shujie Xu, Qi Wang, et al. Dietary supplementation of Macleaya cordata extract and Bacillus in combination improve laying performance by regulating reproductive hormones, intestinal microbiota and barrier function of laying hens. J. Anim. Sci. Biotechnol. 2022. V. 13. No 118.
8. Gao C. Q., Shi H. Q., Xie W. Y., Zhao L. H., Zhang J. Y., Ji C. et al. Dietary supplementation with acidifiers improves the growth performance, meat quality and intestinal health of broiler chickens. Anim Nutr. 2021. No 7 (3). Pp. 762-769.
9. Gao P., Ma C., Sun Z., Wang L., Huang S., Su X., et al. Feed-additive probiotics accelerate yet antibiotics delay intestinal microbiota maturation in broiler chicken. Microbiome. 2017. V. 5 (1). No 91.
10. Grashorn M. A. Use of phytobiotics in broiler nutrition-an alternative to infeed antibiotics. J. Anim. Feed. Sci. 2010. No 19. Pp. 338-347.
11. Inchagova K. S., Duskaev G. K., Deryabin D. G. Quorum sensing inhibition in chromobacterium violaceum by amikacin combination with activated charcoal or small plant-derived molecules (pyrogallol and coumarin). Microbiology. 2019. No 88 (1). Pp. 63-71.
12. Khameneh B., Diab R., Ghazvini K., Fazly Bazzaz B. S. Breakthroughs in bacterial resistance mechanisms and the potential ways to combat them. Microb. Pathog. 2016. No 95. Pp. 32-42.
13. Kohanski M. A., Dwyer D. J., Collins J. J. How antibiotics kill bacteria: from targets to networks. Nat. Rev. Microbiol. 2010. No 8. Pp. 423-435.
14. Li B., Zhang J. Q., Han X. G., Wang Z. L., Xu Y. Y., Miao J. F. Macleaya cordata helps improve the growth-promoting effect of chlortetracycline on broiler chickens. J Zhejiang Univ Sci B. 2018. No 19 (10). Pp. 776-784.
15. Marquardt R. R., Li S. Antimicrobial resistance in livestock: advances and alternatives to antibiotics. Anim. Front. 2018. No 8. Pp. 30-37.
16. Silveira R. F., Roque-Borda C. A., Vicente E. F. Antimicrobial peptides as a feed additive alternative to animal production, food safety and public health implications: An overview. Anim Nutr. 2021. No 7 (3). Pp. 896-904.
17. Varmuzova K., Matulova M. E., Gerzova L., Cejkova D., Gardan-Salmon D., Panheleux M. et al. Curcuma and Scutellaria plant extracts protect chickens against inflammation and Salmonella Enteritidis infection. Poult Sci. 2015. No 94 (9). Pp. 2049-2058.
18. Yausheva E., Kosyan D., Duskaev G., Kvan O., Rakhmatullin S. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine. Biointerface Research in Applied Chemistry. 2019. No 9 (4). Pp. 4168-4171.
19. Buyarov V. S., Chervonova I. V., Mednova V. V., Ilyicheva I. N. Efficiency of using phytobiotics in poultry farming. Bulletin of Agrarian Science. 2020. No 3 (84).

Информация об авторах

Нуржанов Баер Серекпаевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Рахматуллин Шамиль Гафиуллович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: shahm2005@rambler.ru

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биологических наук, доцент, профессор РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29), e-mail: gduskaev@mail.ru

Authors' Information

Nurzhanov Baer Serekpaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 January Str., 29), e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Rakhmatullin Shamil Gafiullovich, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 January Str., 29), e-mail: shahm2005@rambler.ru

Duskaev Galimzhan Kalikhanovich, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 460000, Orenburg, 9 January Str., 29), e-mail: gduskaev@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-41

THE "CANIPROST" PHARMACEUTICAL PRODUCT SAFETY ASSESSMENT BASED ON THE CHRONIC TOXICITY RESEARCH RESULTS

[1,2]Sampiev S. M., [1]Kravchenko Yu. V.

[1]Federal State Research Institution Krasnodar Scientific Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine Krasnodar, Russian Federation
[2]Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of Volgograd State Medical University Pyatigorsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vektor.kriss@yandex.ru

Received 26.02.2026 Submitted 15.05.2026

Abstract

Introduction. The increasing use of multicomponent phytogenic formulations in modern veterinary practice necessitates a comprehensive and scientifically validated assessment of their safety during prolonged administration. This is especially important for medicinal products designed to manage dog's benign prostatic

hyperplasia (BPH). **Object.** The aim of this study was to evaluate the chronic safety profile of a combined phytogenic preparation, containing a complex of biologically active compounds, intended for therapeutic use in dogs with BPH. **Materials and methods.** Chronic toxicity testing was performed on adult laboratory rats allocated into a control group and three experimental groups receiving Kaniprost at doses of 260, 1300, and 2600 mg/kg body weight, respectively. Hematological indices and serum biochemical parameters reflecting liver and kidney function were monitored throughout the study. Additionally, a histological analysis was performed. Data were processed using standard methods of variation statistics. **Results and conclusions.** Long-term administration of Kaniprost did not cause clinically significant changes in hematological parameters relative to the control group. Biochemical indices remained largely within physiological ranges; observed dose-dependent variations were moderate and did not indicate organ dysfunction. Histological evaluation of the prostate confirmed preservation of normal tissue architecture, integrity of epithelial and stromal components, and absence of inflammatory, degenerative, or neoplastic lesions. Collectively, the results demonstrate that chronic administration of Kaniprost does not produce observable toxic effects under experimental conditions and support the rationale for further preclinical evaluation.

Keywords: *veterinary drugs chronic toxicity, dog benign prostatic hyperplasia, dog diseases, herbal remedies, the safety of veterinary drugs.*

Citation. Sampiev A. M., Kravchenko Yu. V. The “Caniprost” pharmaceutical product safety assessment based on the chronic toxicity research results. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 367-382 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-41.
Authors’ contribution. All authors participated in planning, execution, and analysis of the study. All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 619:615+636.7

ОЦЕНКА БЕЗОПАНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОГО СРЕДСТВА КАНИПРОСТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ХРОНИЧЕСКОЙ ТОКСИЧНОСТИ

[1,2]**Сампиев А. М.,** *доктор фармацевтических наук, профессор*
[1]**Кравченко Ю. В.,** *аспирант*

[1]*ФГБНУ Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии*
г. Краснодар, Российская Федерация
[2]*Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ФГБОУ ВО ВолГМУ Минздрава России*
г. Пятигорск, Российская Федерация

Актуальность. Расширение спектра применения многокомпонентных фитопрепаратов в современной ветеринарной практике обусловливает необходимость их всесторонней и научно обоснованной оценки безопасности при длительном применении, в том числе в отношении лекарственных средств, предназначенных для терапии доброкачественной гиперплазии предстательной железы у собак. **Объект.** Объектом исследования являлось комбинированное фармакологическое средство «Канипрост», содержащее комплекс преимущественно растительных биологически активных веществ и предназначенное для применения в терапии доброкачественной гиперплазии предстательной железы у собак. **Материалы и методы.** Исследование хронической токсичности проведено на лабораторных крысах, распределённых на контрольную и три опытные группы, получавшие исследуемый препарат в дозах 260, 1300 и 2600 мг/кг массы тела. В ходе эксперимента в динамике оценивали показатели периферической крови и биохимические параметры сыворотки, характеризующие функциональное состояние печени и почек. Дополнительно выполнено гистологическое исследование. Статистическую обработку полученных данных осуществляли с применением методов вариационной статистики. **Результаты и выводы.** Длительное введение исследуемого средства Канипрост не сопровождалось развитием клинически значимых изменений гематологических показателей по сравнению с контрольной группой. Биохимические параметры сыворотки крови в целом сохранялись в пределах физиологических значений; выявленные дозозависимые колебания носили умеренный характер и не свидетельствовали о нарушении функционального состояния внутренних органов. По данным гистологического исследования предстательной железы установлена сохранность архитектоники органа, целостность эпителиальных и стромальных компонентов, отсутствие признаков воспалительных, дистрофических и неопластических процессов. Совокупность полученных результатов указывает на отсутствие признаков хронической токсичности у фармакологического средства Канипрост в условиях проведённого эксперимента и обосновывает целесообразность его дальнейшего доклинического изучения.

Ключевые слова: *хроническая токсичность ветеринарных препаратов, доброкачественная гиперплазия предстательной железы собак, болезни собак, фитопрепараты, безопасность ветеринарных препаратов.*

Цитирование. Сампиев А. М., Кравченко Ю. В. Оценка безопасности применения фармакологического средства Канипрост по результатам исследования хронической токсичности. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 367-382. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-41.
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. Доклиническая оценка безопасности новых ветеринарных лекарственных средств является обязательным этапом их фармацевтической разработки и проводится в соответствии с действующими методическими рекомендациями Минсельхоза Российской Федерации. Важным компонентом доклинических исследований является изучение хронической токсичности, направленное на выявление возможных неблагоприятных эффектов препарата при длительном применении, определение органов-мишеней, оценку функционального состояния основных систем организма, а также установление характера и обратимости выявляемых изменений. Полученные данные служат научной основой для обоснования безопасности лекарственного средства при его длительном применении у целевых видов животных [1-5].

Актуальность проведения исследований хронической токсичности возрастает при разработке препаратов, предназначенных для лечения и профилактики хронических патологий, требующих продолжительного или курсового применения. К числу таких заболеваний относится доброкачественная гиперплазия предстательной железы у собак – распространённая возраст-зависимая патология, оказывающая значительное влияние на качество жизни животных. В связи с этим доклиническая оценка безопасности лекарственных средств, применяемых для коррекции данной патологии, должна включать исследования при многократном введении в дозах, близких к предполагаемым терапевтическим [1].

Настоящая работа является продолжением комплекса фармакотоксикологических исследований нового ветеринарного средства Канипрост, разработанного для лечения и профилактики доброкачественной гиперплазии предстательной железы у собак. Ранее в остром токсикологическом эксперименте при пероральном введении лабораторным животным было установлено, что максимальная исследуемая доза Канипроста составляла 8000 мг/кг массы тела и не вызывала летальных исходов, что свидетельствует о низкой острой токсичности средства и послужило основанием для проведения дальнейших исследований при длительном применении.

В соответствии с методологическими рекомендациями Минсельхоза РФ, исследование хронической токсичности Канипроста проводили на лабораторных крысах при 6-месячном внутрижелудочном ежедневном введении. Для оценки дозозависимого характера возможных токсических эффектов были сформированы экспериментальные группы животных, получавшие препарат в терапевтической дозе, близкой к предполагаемой для клинического применения, в промежуточной дозе, составляющей пятикратно превышающей терапевтическую дозу, а также в максимальной дозе, составляющей десять терапевтических доз. Контрольной группе животных препарат не вводили [1-3].

Исследование посвящено изучение хронической токсичности Канипроста при 6-месячном пероральном введении крысам с оценкой клинического состояния животных, динамики массы тела, функционального состояния органов и систем, а также возможных морфологических и токсических изменений, возникающих при длительном воздействии средства.

Цель исследования. Проведение доклинической оценки безопасности нового комбинированного фармакологического средства Канипрост, предназначенного для длительной терапии доброкачественной гиперплазии предстательной железы у собак, в условиях 6-месячного хронического эксперимента на лабораторных животных. Цель достигалась решением следующих задач: изучение дозозависимого характера токсического действия при введении в терапевтически близкой, средней (больше терапевтической в пять раз) и высокой (больше терапевтической в десять раз) дозах; выявление возможных органов-мишеней и патологических изменений в результате пролонгированного воздействия; оценка влияния препарата на гематологические, биохимические и морфофункциональные показатели; установление спектра и обратимости выявляемых отклонений для определения профиля безопасности и расчетного запаса терапевтической широты.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали фармакологическое средство Канипрост, предназначенное для лечения и профилактики доброкачественной гиперплазии предстательной железы у собак. Канипрост представляет собой комбинацию активных растительных компонентов из группы изофлавоноидов, стильбенов, фитоалексинов и др. Комбинация этих компонентов обладает ароматаза-ингибирующими, антиандрогенными, антипролиферативными, антиоксидантными и противовоспалительными свойствами.

Исследование хронической токсичности фармакологического средства Канипрост проведено на половозрелых лабораторных крысах-самцах с массой тела около 200 г на момент начала эксперимента. Перед началом исследования животные проходили семисуточный адаптационный (карантинный) период. Содержание крыс осуществляли в стандартных условиях вивария при температуре воздуха 20-22 °С, относительной влажности 50-60 %, 12-часовом световом режиме, с неограниченным доступом к питьевой воде и стандартному гранулированному корму.

Эксперимент выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ 33044–2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики», Приказа Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 14.03.2025 № 153 «Об утверждении Правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения», а также наднациональных нормативных актов – Решения Совета Евразийской экономической комиссии от 03.11.2016 № 93 «О Правилах надлежащей лабораторной практики Евразийского экономического союза» и Решения Совета ЕЭК от 21.01.2022 № 1. Все процедуры соответствовали действующим требованиям к проведению доклинических исследований безопасности ветеринарных лекарственных средств [2, 5].

Канипрост вводили животным перорально. Исследование хронической токсичности средства проводили в течение 6 месяцев при ежедневном пероральном введении препарата. Крысы были случайным образом распределены на четыре экспериментальные группы (n = 8 в каждой группе):

• контрольная группа – животные, не получавшие препарат;

• I опытная группа – животные, получавшие Канипрост в терапевтической дозе 260 мг/кг массы тела;

• II опытная группа (промежуточная доза) – животные, получавшие препарат в дозе 1300 мг/кг массы тела; что превышает терапевтическую дозу в пять раз;

• III опытная группа (максимальная доза) – животные, получавшие препарат в дозе 2600 мг/кг массы тела, что превышает терапевтическую дозу в десять раз;

В течение всего периода исследования проводили ежедневное клиническое наблюдение за общим состоянием животных, их поведением, реакцией на внешние раздражители, состоянием шерстного покрова, слизистых оболочек, а также потреблением корма и воды. Массу тела животных регистрировали 1 раз в 14 суток. Отбор проб крови у крыс осуществляли за 7 суток до начала эксперимента, на 90-е и 180-е сутки его проведения, а также через 14 суток после завершения экспериментального периода.

По окончании 6-месячного эксперимента животных выводили из опыта гуманным методом, забор биоматериала для макроскопического исследования внутренних органов с оценкой их размеров, формы, консистенции и наличия патологических изменений. Отбор биологического материала осуществляли в соответствии с принятыми методическими рекомендациями [5, 6]. Забор крови у крыс выполняли из периферических вен хвоста в соответствии с общепринятой методикой. Животных извлекали из клетки, фиксировали за основание хвоста и иммобилизировали на ровной поверхности с применением стандартных фиксирующих приёмов. Для улучшения кровенаполнения сосудов хвост предварительно прогревали тёплой водой в течение 15 с; процедуру повторяли трёхкратно.

После подготовки на основание хвоста накладывали тонкую бинтовую повязку, выполнявшую функцию жгута, кожу обрабатывали антисептическим раствором хлоргексидина 0,05 %. После визуальной идентификации вены осуществляли её пункцию иглой 21G под углом около 15°. Далее ослабляли жгут и производили забор крови: 0,25 мл помещали в пробирку с ЭДТА-К3 для общего анализа крови и 0,5 мл – в пробирку с литий-гепарином для биохимических исследований. Общий объём отобранной крови, достаточный для про-

ведения исследований, составлял около 0,75 мл. По завершении процедуры область пункции обрабатывали дезинфицирующим средством. Результаты исследования представлены в таблице 2 [7].

Количественную характеристику клеточного и плазменного звеньев крови получали с использованием автоматизированной гематологической системы «Mindray BC-30 Vet» (Китай). В рамках исследования регистрировали показатели, отражающие состояние эритро- и лейкопоэза, тромбоцитарного звена, а также интегральные параметры гемоконцентрации, включая содержание гемоглобина, гематокрит и тромбокрит.

Метаболическое и ферментативное состояние организма оценивали по данным биохимического анализа сыворотки крови, выполненного на полноавтоматическом сухохимическом анализаторе «NX500 FUJI Dry Chem Vet» (Япония). Анализ включал определение углеводного и белкового обмена, азотистых метаболитов, а также активности аминотрансфераз, характеризующих функциональное состояние печени и почек.

По завершении экспериментального воздействия животных выводили из опыта с последующим проведением патологоанатомического исследования. Макроскопическая оценка включала анализ состояния жизненно важных органов и систем, а также расчёт относительных массовых показателей органов, наиболее чувствительных к фармакологическому воздействию. После этого осуществляли забор тканевых фрагментов, которые фиксировали в 10 % забуференном формалине. Материал для морфологического исследования отбирали из органов кровообращения, дыхательной, пищеварительной, мочевыделительной, эндокринной и иммунной систем, а также из репродуктивных органов самцов лабораторных крыс.

Результаты и обсуждения. Статистическую обработку данных проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Достоверность различий между группами оценивали при уровне значимости $p < 0,05$.

В течение всего 6-месячного периода хронического токсикологического эксперимента летальных исходов среди животных всех экспериментальных и контрольной групп не зарегистрировано. Все крысы сохраняли удовлетворительное общее состояние, были активны, адекватно реагировали на внешние раздражители, нарушений аппетита и потребления воды не отмечено.

Клинические признаки интоксикации, изменения поведения или угнетения физиологических функций у животных, получавших Канипрост в терапевтической, промежуточной и максимальной дозах, не выявлены.

Таблица 1 – Динамика массы тела крыс в процессе эксперимента на хроническую токсичность
Table 1 – Changes in body weight of rats during the chronic toxicity experiment

Период исследования /дни / Research period/days	Группа, масса (грамм) / Group, weight (grams)			
	Контрольная / Control	1-я опытная (260 мг/кг) / 1st experimental (260 mg/kg)	2-я опытная (1300 мг/кг) / 2nd experimental (780 mg/kg)	3-я опытная (2600 мг/кг) / 3rd experimental (1300 mg/kg)
0	198 ± 3,2	200 ± 3,9	198 ± 2,1	201 ± 4,1
14	213 ± 2,5	215 ± 3,1	214 ± 3,9	217 ± 2,9
28	225 ± 4,1	227 ± 4,8	223 ± 3,7	229 ± 3,4
42	241 ± 3,6	244 ± 3,8	240 ± 4,2	244 ± 4,7
56	258 ± 3,4	259 ± 2,9	257 ± 3.9	260 ± 3,6
70	275 ± 4.1	274 ± 3.7	273 ± 7,2	276 ± 5,4
84	293 ± 4,2	295 ± 3.4	296 ± 6,3	298 ± 5,9
98	313 ± 3,8	311 ± 3.9	312 ± 6,9	314 ± 6,1
112	328 ± 5,4	327 ± 4.7	325 ± 7,1	329 ± 5,6
126	345 ± 2,9	344 ± 4,2	343 ± 6,5	345 ± 6,4
140	362 ± 4,6	361 ± 5,2	363 ± 7,0	364 ± 4,9
154	378 ± 2,8	379 ± 2,9	377 ± 6,3	376 ± 5,1
168	394 ± 3,8	392 ± 4,2	395 ± 6,7	394 ± 5,3
182	408 ± 3,2	410 ± 6,2	411 ± 6,9	413 ± 6,2
196	418 ± 4,1	419 ± 6,4	420 ± 7,3	422 ± 6,5
204	426 ± 4,8	427 ± 6,9	428 ± 7,8	430 ± 6,9

Измерение массы тела проводили у всех животных перед началом эксперимента, а также далее 1 раз в 14 суток на протяжении всего периода исследования. Анализ динамики массы тела показал равномерный физиологический прирост массы у крыс всех групп, соответствующий возрастным нормам для данного вида лабораторных животных. Статистически значимых различий между контрольной и опытными группами на протяжении эксперимента не выявлено, что свидетельствует об отсутствии отрицательного влияния препарата на общее состояние и обменные процессы организма животных при длительном пероральном введении [4, 8].

Гематологические исследования.

С целью оценки влияния средства Канипрост на показатели системы кроветворения у лабораторных животных проводили гематологическое исследование периферической крови. Отбор образцов осуществляли за 7 дней до начала эксперимента, на 90-е сутки, 180-е сутки и через 14 дней после окончания эксперимента.

Таблица 2 – Морфофизиологические показатели крови крыс, подверженных хроническому эксперименту
Table 2 – Morphophysiological blood parameters of rats subjected to chronic experimentation

Показатели крови / Blood counts	Сутки эксперимента / Day of the experiment	Группа / Group			
		Контрольная / Control	1-я опытная (260 мг/кг) / 1st experimental (260 mg/kg)	2-я опытная (1300 мг/кг) / 2nd experimental (1300 mg/kg)	3-я опытная (2600 мг/кг) / 3rd experimental (2600 mg/kg)
Лейкоциты, 10^9 / л / Leukocytes, 10^9/l	7 дней до / 7 days before	7,29±2,97	6,89±1,46	7,27±1,28	7,15±3,11
	90	7,35±2,10	7,12±1,34	7,65±1,42	7,41±1,88
	180	7,41±2,05	7,28±1,51	7,92±1,60	7,84±2,01
	194	7,33±1,98	7,05±1,29	7,48±1,37	7,89±1,56
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	7 дней до / 7 days before	4,59±1,48	4,48±1,52	5,22±0,74	5,33±3,17
	90	4,72±1,21	4,65±1,33	5,41±0,88	5,52±1,95
	180	4,70±1,18	4,78±1,27	5,63±0,91	5,78±2,01
	194	4,61±1,09	4,54±1,20	5,29±0,82	5,71±1,64
Мон / эоз, % / Mon / eoz, %	7 дней до / 7 days before	0,47±0,30	0,24±0,27	0,46±0,32	0,45±0,12
	90	0,49±0,28	0,35±0,25	0,52±0,29	0,51±0,20
	180	0,47±0,27	0,34±0,24	0,53±0,31	0,53±0,22
	194	0,48±0,25	0,29±0,22	0,49±0,27	0,53±0,18
Гранулоциты, % / Granulocytes, %	7 дней до / 7 days before	1,63±0,51	1,15±0,27	1,53±0,43	1,18±0,43
	90	1,67±0,48	1,24±0,29	1,61±0,46	1,78±0,52
	180	1,68±0,45	1,28±0,31	1,59±0,48	1,82±0,55
	194	1,64±0,43	1,19±0,28	1,57±0,44	1,81±0,47
Эритроциты, 10^{12}/л / Red blood cells, 10^{12}/L	7 дней до / 7 days before	6,74±1,75	6,80±1,42	7,85±1,25	7,35±0,29
	90	6,88±1,32	6,92±1,28	7,98±1,21	7,61±0,42
	180	6,85±1,29	7,04±1,26	7,95±1,19	7,59±0,47
	194	6,82±1,21	7,01±1,24	7,92±1,17	7,42±0,39
Гемоглобин, g / л / Hemoglobin, g/L	7 дней до / 7 days before	168,0±27,87	132,0±10,54	134,0±9,85	179,33±6,76
	90	170,5±21,6	136,2±11,3	136,7±10,1	184,6±7,9
	180	172,8±20,9	135,5±11,8	136,9±10,4	185,8±8,4
	194	171,2±19,8	135,8±10,9	137,1±9,7	185,1±7,6
Гематокрит, % / Hematocrit, %	7 дней до / 7 days before	42,71±8,64	42,73±3,45	43,51±2,68	42,56±1,57
	90	43,02±7,11	43,11±3,62	44,08±2,81	44,72±2,14
	180	43,58±6,94	43,29±3,78	44,65±2,95	43,89±2,27
	194	43,84±6,52	42,98±3,41	44,52±2,69	43,36±2,01
PLT	7 дней до / 7 days before	357,0±112,78	441,0±20,66	456,33±16,90	431,7±56,65
	90	362,8±98,4	448,5±25,3*	489,6±21,4*	503,2±62,1*
	180	358,9±91,6	455,7±28,9*	498,8±24,7*	528,4±66,8*
	194	380,6±87,3	442,1±23,7	482,4±19,8	468,9±54,2

* $p < 0,05$.

Проведённый анализ показателей общего клинического анализа крови у крыс контрольной и опытных групп, получавших исследуемый препарат в дозах 260, 1300 и 2600 мг/кг массы тела на протяжении 194 суток эксперимента, позволил выявить умеренные, дозозависимые, обратимые особенности изменений отдельных гематологических показателей.

Общее количество лейкоцитов во всех экспериментальных группах на протяжении всего периода наблюдения находилось в пределах физиологической нормы и не имело статистически значимых отличий от контрольной группы. Исходные значения составляли 6,89–7,29×10^9/л, а к 194-м суткам эксперимента – 7,05–7,89×10^9/л. Отмечалась незначительная тенденция к повышению числа лейкоцитов в 3-й опытной группе (2600 мг/кг) к завершению эксперимента (7,89 ± 1,56×10^9/л против 7,33 ± 1,98×10^9/л в контроле), однако данные изменения не достигали уровня статистической значимости.

Относительное содержание лимфоцитов характеризовалось стабильностью показателей во всех группах. При этом во 2-й и 3-й опытных группах наблюдались несколько более высокие значения (5,29 ± 0,82 % и 5,71 ± 1,64 % соответственно на 194-е сутки) по сравнению с контролем (4,61 ± 1,09 %), что может свидетельствовать о незначительной активации лимфоцитарного звена иммунной системы при введении препарата в высоких дозах.

Соотношение моноцитов и эозинофилов оставалось стабильным на протяжении всего эксперимента. Примечательно, что в 1-й опытной группе данный показатель был несколько ниже контрольных значений (0,29 ± 0,22 % против 0,48 ± 0,25 % на 194-е сутки), что, вероятно, обусловлено индивидуальной вариабельностью и не имеет токсикологического значения.

Содержание гранулоцитов во всех группах находилось в сопоставимых пределах. В 3-й опытной группе к 90-м суткам отмечалось некоторое повышение данного показателя с последующей стабилизацией (1,81 ± 0,47 % на 194-е сутки против 1,64 ± 0,43 % в контроле), что не выходило за рамки физиологических колебаний.

Количество эритроцитов во 2-й и 3-й опытных группах на протяжении всего эксперимента превышало значения контрольной группы. Наиболее выраженные различия наблюдались во 2-й опытной группе (1300 мг/кг), где содержание эритроцитов составляло 7,92 ± 1,17×10^{12}/л на 194-е сутки против 6,82 ± 1,21×10^{12}/л в контроле. Однако данные изменения характеризовались значительной индивидуальной вариабельностью и не сопровождались статистически достоверными сдвигами.

Уровень гемоглобина демонстрировал разнонаправленные изменения в зависимости от дозы препарата. В 1-й и 2-й опытных группах концентрация гемоглобина была ниже контрольных значений (135,8 ± 10,9 г/л и 137,1 ± 9,7 г/л соответственно против 171,2 ± 19,8 г/л в контроле на 194-е сутки), тогда как в 3-й опытной группе превышала контрольный уровень (185,1 ± 7,6 г/л). Выявленная закономерность может указывать на дозозависимый характер влияния препарата на эритропоэз, однако требует дополнительного изучения механизмов данного феномена.

Показатели гематокрита во всех группах сохранялись на сопоставимом уровне (42,98-44,52 % на 194-е сутки), что свидетельствует об отсутствии существенных изменений объёмной фракции эритроцитов и сохранении реологических свойств крови.

Наиболее значимые изменения были выявлены в отношении количества тромбоцитов (PLT). Во всех опытных группах на 90-е и 180-е сутки эксперимента отмечалось статистически значимое повышение числа тромбоцитов по сравнению с контролем ($p < 0,05$). Максимальные значения регистрировались на 180-е сутки в 3-й опытной группе (528,4 ± 66,8×10^9/л против 358,9 ± 91,6×10^9/л в контроле). К 194-м суткам наблюдалась тенденция к нормализации показателей, при этом различия с контрольной группой утрачивали статистическую значимость.

Выявленный дозозависимый тромбоцитоз может свидетельствовать о стимулирующем влиянии исследуемого препарата на мегакариоцитарный росток кроветворения. Вместе с тем обратимый характер изменений указывает на активацию компенсаторных механизмов регуляции тромбоцитопоэза при длительном введении препарата.

Таким образом, хроническое введение исследуемого препарата в дозах 260, 1300 и 2600 мг/кг массы тела на протяжении 194 суток не вызывало выраженных патологических изменений со стороны лейкоцитарного и эритроцитарного звеньев периферической крови. Выявленное транзиторное повышение количества тромбоцитов в опытных группах носило обра-

тимый характер и не сопровождалось клиническими проявлениями нарушений гемостаза. Полученные данные свидетельствуют об удовлетворительной переносимости препарата и отсутствии выраженного гематотоксического действия в изученном диапазоне доз [4, 8, 9].

Биохимические исследования крови.

Биохимические показатели сыворотки крови определяли с целью оценки функционального состояния печени, почек и общего метаболического статуса животных. Забор крови для биохимического анализа крови осуществляли за 7 дней до начала эксперимента, на 90-е сутки, 180-е сутки и через 14 дней после окончания эксперимента.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови крыс, подверженных хроническому эксперименту
Table 3 – Biochemical blood parameters of rats subjected to chronic experimentation

Показатели крови / Blood counts	Сутки эксперимента / Day of the experiment	Группа / Croup			
		Контрольная / Control	1-я опытная (260 мг/кг) / 1st experimental (260 mg/kg)	2-я опытная (1300 мг/кг) / 2nd experimental (1300 mg/kg)	3-я опытная (2600 мг/кг) / 3rd experimental (2600 mg/kg)
Общий белок, г/л / Total protein, g/L	7 дней до / 7 days before	53,83±2,65	55,60±3,22	54,57±1,50	58,10±4,81
	90	54,21±2,44	56,90±3,05	55,52±1,63	59,72±4,25
	180	54,18±2,31	55,87±2,98	55,41±1,70	59,84±4,10
	194	54,06±2,28	55,62±2,84	55,10±1,59	58,72±3,98
Альбумины, г/л / Albumin, g/L	7 дней до / 7 days before	25,82±0,95	26,17±2,72	25,87±3,01	27,26±0,76
	90	26,01±0,88	26,42±2,35	26,10±2,87	27,84±0,82
	180	26,14±0,91	26,28±2,41	26,02±2,94	28,05±0,85
	194	25,96±0,86	26,19±2,28	25,98±2,75	27,48±0,79
Глобулины, г/л / Globulins, g/L	7 дней до / 7 days before	31,93±2,06	29,82±5,54	29,85±2,51	32,03±5,56
	90	32,10±2,01	29,58±5,12	30,02±2,43	32,41±5,10
	180	32,04±1,98	29,59±5,08	29,87±2,36	32,78±5,02
	194	32,05±1,94	29,71±4,96	29,64±2,29	32,22±4,85
АЛТ, ед./л / ALT, units/l	7 дней до / 7 days before	127,37±48,07	112,10±14,59	110,60±15,71	118,80±7,30
	90	129,42±44,18	114,35±15,22	112,80±16,04	132,40±9,12
	180	130,18±42,96	115,12±14,87	113,10±15,22	156,20±11,35*
	194	131,74±41,83	113,90±14,10	114,30±15,76	134,10±9,48
АСТ, ед./л / AST, units/l	7 дней до / 7 days before	168,53±30,02	157,43±22,42	164,80±36,86	178,27±14,23
	90	170,21±28,96	158,90±21,85	167,40±35,92	186,60±15,08
	180	170,42±26,95	159,75±21,38	165,95±34,78	201,30±16,72*
	194	171,10±27,84	159,20±20,94	166,80±33,91	184,40±14,96
Общий билирубин, мкмоль/л / Total bilirubin, μmol/L	7 дней до / 7 days before	5,32 ±1,65	3,75±0,72	4,40±1,68	6,02±1,50
	90	5,41±1,58	3,80±0,69	4,48±1,62	6,35±1,44
	180	5,36±1,47	3,81±0,71	4,55±1,57	7,12±1,62*
	194	5,38±1,51	3,84±0,68	4,43±1,49	6,21±1,38
ЩФ, ед./л / ALP units/l	7 дней до / 7 days before	310,00±17,32	298,00±18,74	328,00±7,01	389,35±57,14
	90	312,40±18,05	300,10±17,98	330,60±7,35	402,80±52,96
	180	313,10±17,86	301,45±17,42	329,10±7,28	438,50±49,88*
	194	311,60±17,14	299,30±16,95	332,20±7,62	395,70±46,21
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/L	7 дней до / 7 days before	5,60±0,92	5,67±3,51	6,00±3,00	5,33±5,13
	90	5,74±0,88	5,10±3,12	5,85±2,86	5,48±2,91
	180	5,81±0,86	5,22±3,05	5,92±2,94	7,63±2,84*
	194	5,69±0,84	5,35±2,98	5,88±2,80	5,44±2,73
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/L	7 дней до / 7 days before	25,67±3,51	22,60±3,22	25,34±1,50	24,77±2,19
	90	26,10±3,42	23,15±3,05	25,82±1,46	25,30±2,08
	180	26,35±3,38	23,48±2,98	26,10±1,42	35,62±2,02*
	194	25,98±3,29	23,02±2,91	25,60±1,39	24,88±1,96

* $p < 0,05$.

Проведённый анализ биохимических показателей сыворотки крови у крыс контрольной и опытных групп, получавших исследуемый препарат в дозах 260, 1300 и 2600 мг/кг массы тела на протяжении 194 суток эксперимента, позволил оценить функциональное состояние основных органов и систем организма.

Концентрация общего белка сыворотки крови во всех экспериментальных группах на протяжении всего периода наблюдения находилась в пределах физиологической нормы и не имела статистически значимых отличий от контрольной группы. В 3-й опытной группе (2600 мг/кг) отмечались несколько более высокие значения данного показателя (58,72 ± 3,98 г/л на 194-е сутки против 54,06 ± 2,28 г/л в контроле), однако выявленные различия не достигали уровня статистической значимости и укладывались в рамки физиологических колебаний.

Содержание альбуминов характеризовалось стабильностью показателей во всех группах на протяжении эксперимента. В 3-й опытной группе наблюдалась незначительная тенденция к повышению альбуминовой фракции (27,48 ± 0,79 г/л на 194-е сутки против 25,96 ± 0,86 г/л в контроле), что может свидетельствовать о сохранении белоксинтетической функции печени при введении препарата в максимальной дозе.

Концентрация глобулинов в опытных группах оставалась на уровне, сопоставимом с контрольными значениями. В 1-й и 2-й опытных группах отмечались несколько более низкие показатели глобулиновой фракции (29,71 ± 4,96 г/л и 29,64 ± 2,29 г/л соответственно против 32,05 ± 1,94 г/л в контроле на 194-е сутки), что, вероятно, обусловлено индивидуальной вариабельностью и не имеет клинического значения. Соотношение альбуминов и глобулинов во всех группах сохранялось в пределах физиологических значений, что свидетельствует об отсутствии выраженных нарушений белкового обмена.

Активность аланинаминотрансферазы (АЛТ) в 1-й и 2-й опытных группах была ниже контрольных значений (113,90 ± 14,10 ед./л и 114,30 ± 15,76 ед./л соответственно против 131,74 ± 41,83 ед./л в контроле на 194-е сутки), что характеризует отсутствие гепатотоксического действия препарата в данных дозах. В 3-й опытной группе на 180-е сутки эксперимента зарегистрировано статистически значимое повышение активности АЛТ (156,20 ± 11,35 ед./л, $p < 0,05$), которое носило транзиторный характер и к 194-м суткам нормализовалось (134,10 ± 9,48 ед./л).

Активность аспартатаминотрансферазы (АСТ) демонстрировала аналогичную динамику. В 1-й и 2-й опытных группах показатели находились на уровне контрольных значений. В 3-й опытной группе на 180-е сутки отмечалось статистически значимое повышение активности фермента (201,30 ± 16,72 ед./л против 170,42 ± 26,95 ед./л в контроле, $p < 0,05$) с последующей нормализацией к завершению эксперимента (184,40 ± 14,96 ед./л на 194-е сутки).

Уровень общего билирубина в сыворотке крови крыс 1-й и 2-й опытных групп был несколько ниже контрольных значений (3,84 ± 0,68 мкмоль/л и 4,43 ± 1,49 мкмоль/л соответственно против 5,38 ± 1,51 мкмоль/л в контроле на 194-е сутки). В 3-й опытной группе на 180-е сутки зарегистрировано статистически значимое повышение концентрации билирубина (7,12 ± 1,62 мкмоль/л, $p < 0,05$), которое к 194-м суткам вернулось к исходным значениям (6,21 ± 1,38 мкмоль/л).

Активность щелочной фосфатазы (ЩФ) в 1-й и 2-й опытных группах оставалась близкой к контрольным значениям на протяжении всего эксперимента. В 3-й опытной группе наблюдалось статистически значимое повышение активности фермента на 180-е сутки (438,50 ± 49,88 ед./л против 313,10 ± 17,86 ед./л в контроле, $p < 0,05$) с последующим снижением к 194-м суткам (395,70 ± 46,21 ед./л). Данная динамика согласуется с изменениями активности трансаминаз и может свидетельствовать о транзиторном напряжении гепатобилиарной системы при введении препарата в максимальной дозе.

Показатели азотистого обмена в 1-й и 2-й опытных группах находились в пределах контрольных значений на протяжении всего эксперимента, что указывает на отсутствие нефротоксического действия препарата в данных дозах.

Концентрация мочевины в 3-й опытной группе на 180-е сутки статистически значимо превышала контрольные значения (7,63 ± 2,84 ммоль/л против 5,81 ± 0,86 ммоль/л в контроле, $p < 0,05$). К завершению эксперимента показатель нормализовался и составил 5,44 ± 2,73 ммоль/л.

Уровень креатинина демонстрировал аналогичную динамику: в 3-й опытной группе на 180-е сутки зарегистрировано статистически значимое повышение показателя (35,62 ± 2,02 мкмоль/л против 26,35 ± 3,38 мкмоль/л в контроле, $p < 0,05$) с последующей нормализацией к 194-м суткам (24,88 ± 1,96 мкмоль/л).

Выявленные изменения показателей азотистого обмена в 3-й опытной группе носили однонаправленный синхронный характер, что может указывать на транзиторное функциональное напряжение выделительной системы при введении препарата в максимальной дозе. Обратимость изменений свидетельствует об активации компенсаторных механизмов и адаптации организма к воздействию препарата.

Таким образом, хроническое введение исследуемого препарата в дозах 260 и 1300 мг/кг массы тела на протяжении 194 суток не вызывало статистически значимых изменений биохимических показателей крови, что свидетельствует об отсутствии выраженного токсического воздействия на функциональное состояние печени и почек.

При введении препарата в максимальной дозе (2600 мг/кг) на 180-е сутки эксперимента отмечались статистически значимые транзиторные изменения показателей, характеризующих функциональное состояние гепатобилиарной системы (повышение активности АЛТ, АСТ, ЩФ, уровня общего билирубина) и выделительной системы (повышение концентрации мочевины и креатинина). Обратимый характер выявленных изменений к завершению эксперимента указывает на функциональный характер нарушений и способность организма к адаптации при длительном введении препарата. Полученные данные обосновывают необходимость дальнейшего изучения механизмов влияния препарата на функции паренхиматозных органов при использовании высоких доз [4, 9, 10, 11].

Макроскопическое и гистологическое исследование.

По завершении 6-месячного эксперимента, через 14 дней всех животных выводили из опыта гуманным методом. Проводили макроскопическое исследование внутренних органов, включая печень, почки, сердце, лёгкие, селезёнку, желудок и кишечник. В эксперименте для иллюстративного материала были использованы макроскопические изображения органов крыс контрольной и третьей (максимальной дозовой) группы. Выбор данных групп обусловлен тем, что именно они отражают крайние варианты воздействия исследуемого препарата – физиологическую норму и условия наибольшей фармакологической нагрузки. Такой подход позволяет наглядно продемонстрировать возможные морфологические различия при сравнении интактных животных и животных, получавших препарат в максимально исследуемой дозе.

При этом у крыс первой и второй опытных групп выраженных макроскопических изменений, отличающихся от контрольных значений, не выявлено, что не требовало дополнительной визуальной демонстрации. Использование крайних групп обеспечивает репрезентативность представленных данных и соответствует принятой практике представления результатов токсикологических исследований.

При макроскопическом исследовании сердца, желудка, кишечника, печени, селезёнки, почек и надпочечников крыс 3-й группы, получавших препарат в дозе 2600 мг/кг в течение хронического эксперимента, грубых патологических изменений, свидетельствующих о выраженном токсическом поражении органов-мишеней, не выявлено; анатомическая форма, размеры и структурная организация органов в целом соответствовали физиологической норме. Отмеченные отдельные особенности (незначительная неоднородность паренхимы печени, умеренное усиление окраски отдельных органов) носили слабовыраженный характер и не сопровождались признаками деструктивных, воспалительных или неопластических процессов. При оценке массы внутренних органов существенной разницы между опытными группами и контрольной группой не установлено таблица 4.

Контрольная группа. Сердце правильной анатомической формы, размеры соответствуют физиологической норме для лабораторной крысы. Перикард тонкий, прозрачный, без утолщения и патологических наложений; полость перикарда без избыточного содержимого. Эпикард гладкий, блестящий. Миокард равномерной тёмно-красной окраски, однородной консистенции. Толщина стенок желудочков соответствует возрастной норме, признаков дилатации полостей не выявлено. Эндокард гладкий, без участков утолщения и тромботических наложений.

Таблица 4 – Масса внутренних органов крыс (M ± m; n = 5)
Table 4 – Weight of internal organs of rats (Mean ± SEM; n = 5)

Органы / Organs	Группы животных / Groups of animals			
	Контроль / Control	1-я опытная группа (260 мг/кг) / 1st experimental (260 mg/kg)	2-я опытная (1300 мг/кг) / 2nd experimental (1300 mg/kg)	3-я опытная (2600 мг/кг) / 3rd experimental (2600 mg/kg)
Сердце / Heart	0,82 ± 0,04	0,84 ± 0,04	0,87 ± 0,03	0,83 ± 0,05
Легкие с трахеей / Lungs with trachea	2,36 ± 0,17	2,41 ± 0,16	2,37 ± 0,14	2,44 ± 0,13
Печень / Liver	8,03 ± 0,61	7,95 ± 0,62	7,88 ± 0,57	7,92 ± 0,60
Селезенка / Spleen	0,84 ± 0,07	0,81 ± 0,07	0,84 ± 0,09	0,82 ± 0,08
Почки / Kidneys	2,15 ± 0,15	2,17 ± 0,13	2,21 ± 0,12	2,20 ± 0,11
Желудок / Stomach	2,30 ± 0,31	2,27 ± 0,34	2,28 ± 0,35	2,33 ± 0,29

3-я группа (2600 мг/кг). Сердце сохраняет правильную анатомическую форму и топографию. Перикард без признаков утолщения, фибринозных наложений или выпота. Эпикард гладкий, блестящий. Миокард несколько более тёмной окраски по сравнению с контролем, структура визуально однородная. Толщина стенок желудочков и межжелудочковой перегородки без выраженных отклонений; признаков дилатации или гипертрофии полостей макроскопически не установлено. Эндокард без видимых изменений, клапанные структуры сохранены. Макроскопический вид сердца представлен на рисунке 1.

Контроль / Control

3-я опытная (2600 мг/кг) / 3rd experimental (2600 mg/kg)

Рисунок 1 – Изображение сердца крысы контрольной и 3-й экспериментальной группы
Figure 1 – Image of the rat heart of the control and 3rd experimental groups

Контрольная группа. Желудок правильной анатомической формы, без признаков деформации и растяжения. Серозная оболочка гладкая, блестящая. Слизистая оболочка бледно-розового цвета, складчатость сохранена, эрозий, язвенных дефектов, очаговых кровоизлияний и участков некроза не выявлено. Стенка желудка умеренной толщины, эластичной консистенции.

Кишечник на всём протяжении без отклонений от анатомической нормы. Петли свободно расположены, спаек, деформаций и участков стеноза не обнаружено. Серозная оболочка гладкая, блестящая. Тонкий и толстый отделы без признаков воспалительной инфильтрации, утолщения стенки, кровоизлияний или очаговых повреждений. Просвет кишечника не расширен, содержимое умеренное, без патологических примесей.

3-я группа (2600 мг/кг). Желудок сохраняет анатомически правильную форму. Серозная оболочка преимущественно гладкая, без фибринозных наложений. Слизистая оболочка розовая, местами несколько более насыщенной окраски по сравнению с контролем, складчатость сохранена. Очаговых язвенных дефектов, выраженных эрозий, кровоизлияний и перфораций не выявлено. Толщина стенки желудка без выраженного утолщения или истончения.

Кишечник на всём протяжении без грубых макроскопических изменений. Петли кишечника подвижные, спаечного процесса не отмечено. Серозная оболочка гладкая. Стенка кишечника равномерной толщины; признаков выраженного отёка, некроза, изъязвления или деформации не обнаружено. Тонкий и толстый отделы без видимых признаков хронического воспалительного процесса. Макроскопический вид желудка и кишечника представлен на рисунке 2.

Контроль / Control

3-я опытная (2600 мг/кг) / 3rd experimental (2600 mg/kg)

Рисунок 2 – Изображение желудка и кишечника крысы контрольной и 3-й экспериментальной группы
Figure 2 – An image of the stomach and intestines of a rat in the control and 3rd experimental groups

Контрольной группа. Печень не увеличена, размеры соответствуют анатомической норме для крысы. Орган правильной дольчатой формы, контуры чёткие, края закруглённые, капсула гладкая, блестящая, без участков утолщения и наложений.

3-я группа (2600 мг/кг). Печень не увеличена. Контуры ровные, четкие. Свободный край острый, паренхима неоднородная – мелкозернситая. Выражена дольчатость. Новообразования не выявлены. Макроскопический вид печени представлен на рисунке 3.

Контроль / Control

3-я опытная (2600 мг/кг) / 3rd experimental (2600 mg/kg)

Рисунок 3 – Изображение печени крысы контрольной и 3-й экспериментальной группы
Figure 3 – Image of the liver of rats of the control and 3rd experimental groups

Контрольная группа. Селезёнка правильной продолговато-овальной формы, размеры соответствуют физиологической норме для лабораторной крысы. Капсула тонкая, гладкая, без признаков напряжения и утолщения. Поверхность ровная, блестящая. Окраска паренхимы однородная, тёмно-вишнёвая. Консистенция умеренно плотная, эластичная. На разрезе структура сохранена, пульпа равномерная, без очаговых кровоизлияний, инфарктов и участков деструкции.

3-я группа (2600 мг/кг). Селезёнка сохраняет анатомически правильную форму, контуры чёткие. Капсула без видимого напряжения, целостность её не нарушена. Поверхность преимущественно гладкая. Окраска тёмно-вишнёвая, местами несколько более насыщенная по сравнению с контролем, без выраженной пятнистости. Консистенция сохранена, умеренно плотная. На разрезе структура пульпы визуально однородная, грубых очаговых изменений, инфарктов, некрозов или массивных кровоизлияний не выявлено. Макроскопический вид селезенки представлен на рисунке 4.

Контрольная группа. Почки бобовидной формы, симметричные, размеры соответствуют физиологической норме для лабораторной крысы. Поверхность гладкая, ровная; капсула тонкая, плотная, легко снимается, без патологических наложений и признаков утолщения. Окраска паренхимы равномерная, красно-бурая. На разрезе корковый и мозговой слои чётко дифференцируются, граница между ними сохранена. Лоханка не расширена, слизистая без видимых изменений.

Контроль / Control

3-я опытная (2600 мг/кг) /
3rd experimental (2600 mg/kg)

Рисунок 4 – Изображение селезенки крысы контрольной и 3-й экспериментальной группы
Figure 4 – Image of the rat spleen of the control and 3rd experimental groups

Надпочечники правильной овальной формы, желтовато-коричневой окраски, плотной консистенции. Поверхность ровная, капсула тонкая. Макроскопических признаков гиперплазии, кровоизлияний или очаговой деструкции не выявлено.

3-я группа (2600 мг/кг). Почки сохраняют бобовидную форму и симметричность расположения. Поверхность преимущественно гладкая; капсула без признаков выраженного утолщения и патологических наложений. Окраска паренхимы несколько более тёмная по сравнению с контролем, равномерная. На разрезе корковый и мозговой слои визуализируются отчётливо, их соотношение сохранено. Признаков очаговых некротических изменений, кистозной трансформации, выраженной зернистости или деформации чашечно-лоханочной системы макроскопически не отмечается.

Надпочечники округлой формы, окраска желтовато-коричневая, консистенция плотная. Грубых макроскопических изменений, свидетельствующих о гиперплазии или дистрофических процессах, не выявлено. Макроскопический вид почек представлен на рисунке 5.

Контроль / Control

3-я опытная (2600 мг/кг) /
3rd experimental (2600 mg/kg)

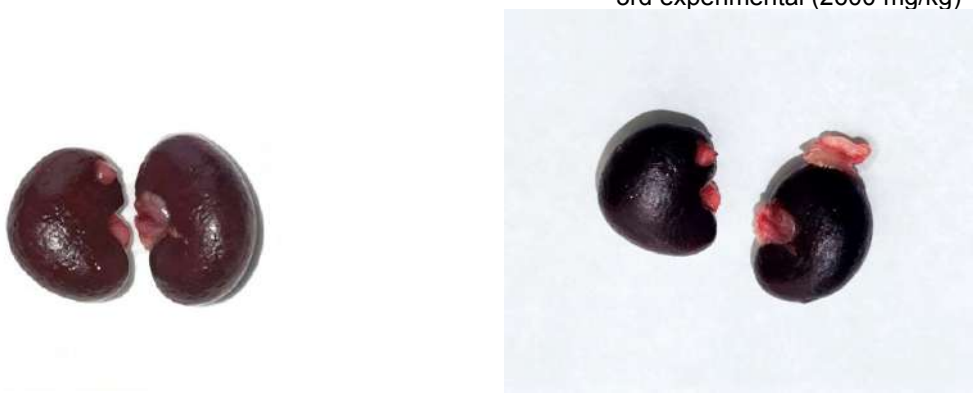


Рисунок 5 – Изображение селезенки крысы контрольной и 3-й экспериментальной группы
Figure 5 – Image of the rat spleen of the control and 3rd experimental groups

Для гистологического анализа были отобраны образцы предстательной железы с учётом направленности фармакологического действия исследуемого препарата «Канипрост». Гистологический анализ показал сохранность тканевой архитектоники органов, отсутствие дистрофических, воспалительных и некротических изменений у животных всех опытных групп. Морфологическая картина внутренних органов животных, получавших препарат Канипрост, не отличалась от таковой у контрольной группы (рисунок 6).

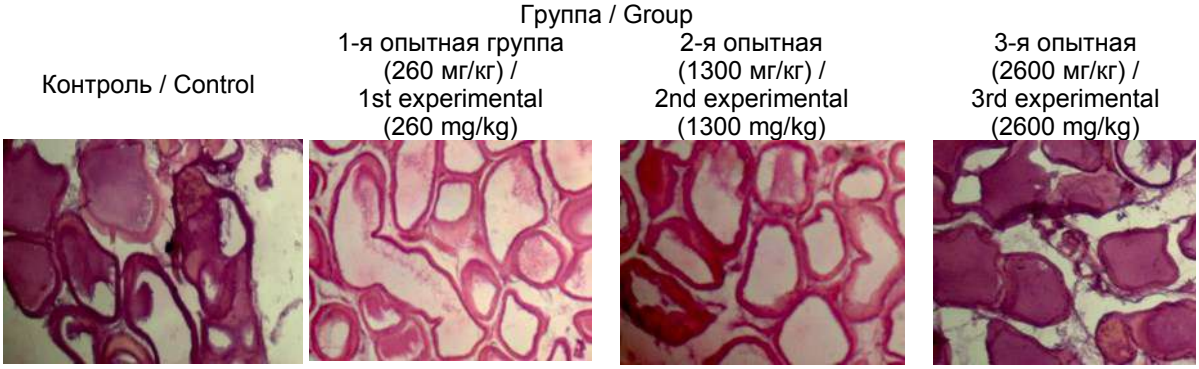


Рисунок 6 – Гистологические срезы предстательной железы крыс, подверженных эксперименту хронической токсичности
Figure 6 – Histological sections of the prostate gland of rats subjected to chronic toxicity experiments

По данным гистологического исследования тканей предстательной железы крыс контрольной и опытных групп установлено, что морфологическая структура органа сохраняла типичную архитектонику.

В исследуемом материале визуализировались гистологически различимые доли предстательной железы, разделённые тонкой фиброзной стромой. Вентральные доли были представлены плотно организованными ацинусами и альвеолами, окружёнными слоями гладкомышечных волокон. Ацинусы выстланы однослойным эпителием, сформированным высокими столбчатыми клетками с базально или парабазально расположенными округлыми ядрами и умеренным либо обильным объёмом эозинофильной цитоплазмы. В апикальных отделах эпителиальных клеток отмечались секреторные вакуоли. Просветы ацинусов были заполнены бледно-розовым секретом. В эпителиальном слое и межацинарных пространствах выявлялись макрофагоподобные клетки с выраженной лизосомальной системой.

Дорсолатеральные доли предстательной железы были представлены двумя гистологически различимыми зонами – дорсальной и латеральной. Ацинусы обеих зон располагались более рыхло и были разделены фиброзной стромой. Эпителий имел кубическую либо столбчатую форму. В дорсальной зоне отмечалось наличие цитоплазматических выростов и вакуолей в апикальной части эпителиальных клеток, содержащих секрет промежуточной интенсивности окраски. Ядра клеток имели округлую форму и плотный хроматин.

Латеральная зона характеризовалась наличием щеточной каёмки на поверхности эпителиальных клеток среднего размера с центрально или парабазально расположенными ядрами. В просветах ацинусов выявлялся секрет, окрашиваемый более эозинофильно по сравнению с вентральной долей.

Признаков воспалительной инфильтрации, наличия микроорганизмов, очагов некроза, дисплазии эпителия или опухолевого роста не выявлено. Морфологических изменений, указывающих на токсическое повреждение тканей предстательной железы, не обнаружено.

Гистологическая картина тканей предстательной железы крыс опытных групп соответствует нормальной морфологической структуре органа и не выявляет признаков патологических изменений при хроническом введении средства Канипрост [8, 9, 12, 13, 14].

Выводы. В условиях 6-месячного хронического токсикологического эксперимента пероральное введение препарата «Канипрост» крысам в терапевтической (260 мг/кг), промежуточной (1300 мг/кг) и максимальной (2600 мг/кг) дозах не сопровождалось летальностью и клинически значимыми признаками интоксикации. Поведенческие реакции, аппетит и потребление воды сохранялись на уровне контроля, что указывает на удовлетворительную общую переносимость препарата при длительном применении.

Динамика массы тела животных всех групп характеризовалась равномерным физиологическим приростом без статистически значимых межгрупповых различий (ANOVA, $p < 0,05$), свидетельствуя об отсутствии отрицательного влияния препарата на общий метаболический статус и трофологическое обеспечение организма.

Гематологические показатели в целом оставались стабильными: параметры лейкоцитарного и эритроцитарного звеньев периферической крови не выявляли достоверных отклонений, указывающих на угнетение кроветворения или воспалительно-токсическую реакцию. От-

меченное транзиторное повышение числа тромбоцитов на 90-е и 180-е сутки в опытных группах носило обратимый характер и к 194-м суткам демонстрировало тенденцию к нормализации, что позволяет расценивать данное изменение как адаптационно-компенсаторную реакцию без признаков клинически значимого нарушения гемостаза.

Биохимический профиль сыворотки крови подтверждает отсутствие выраженного токсического поражения паренхиматозных органов при дозах 260 и 1300 мг/кг: показатели белкового обмена, а также маркеры функции печени и почек находились в пределах, сопоставимых с контролем. В максимальной дозе (2600 мг/кг) на 180-е сутки выявлены статистически значимые, но транзиторные изменения ферментативных (АЛТ, АСТ, ЩФ) и метаболических (общий билирубин, мочевина, креатинин) показателей ($p<0,05$) с последующей нормализацией через 14 суток после завершения введения, что указывает на функциональное напряжение гепатобилиарной и выделительной систем без формирования стойкой дисфункции.

Макроскопическое исследование внутренних органов не выявило грубых патологических изменений и достоверных различий по массе органов между опытными и контрольной группами. Гистологический анализ (включая предстательную железу как орган-мишень с учётом фармакологической направленности препарата) показал сохранность тканевой архитектоники и отсутствие дистрофических, воспалительных, некротических и неопластических изменений.

В совокупности полученные данные свидетельствуют о том, что «Канипрост» при хроническом пероральном введении в дозах 260 и 1300 мг/кг не оказывает гематотоксического, гепатотоксического и нефротоксического действия и характеризуется благоприятным профилем безопасности. Применение максимальной дозы 2600 мг/кг сопровождается обратимыми биохимическими сдвигами [1-3].

Conclusions. Under the conditions of a 6-month chronic toxicological experiment, oral administration of “Caniprost” to rats at therapeutic (260 mg/kg), intermediate (1300 mg/kg), and maximum (2600 mg/kg) doses did not result in lethality or clinically significant signs of intoxication. Behavioral responses, appetite, and water consumption remained at control levels, indicating satisfactory overall tolerance of the drug during long-term use. The dynamics of body weight in all groups of animals was characterized by uniform physiological growth without statistically significant intergroup differences (ANOVA, $p<0.05$), indicating that the drug had no negative effect on the overall metabolic status and trophological support of the body. Hematological parameters remained generally stable: the parameters of the leukocyte and erythrocyte components of the peripheral blood did not reveal significant deviations indicating suppression of hematopoiesis or an inflammatory toxic reaction. The transient increase in the number of platelets observed on days 90 and 180 in the experimental groups was reversible and showed a tendency to normalize by day 194, suggesting that this change was an adaptive compensatory response without any signs of clinically significant hemostatic disorders.

The biochemical profile of the blood serum confirms the absence of pronounced toxic damage to the parenchymal organs at doses of 260 and 1300 mg/kg: the indicators of protein metabolism, as well as the markers of liver and kidney function, were within the limits comparable to the control. At the maximum dose (2600 mg/kg), statistically significant but transient changes in enzymatic (ALT, AST, and ALP) and metabolic (total bilirubin, urea, and creatinine) parameters were observed on day 180 ($p<0.05$), followed by normalization 14 days after the end of administration, indicating functional stress in the hepatobiliary and excretory systems without persistent dysfunction.

A macroscopic examination of the internal organs did not reveal gross pathological changes or significant differences in organ weight between the experimental and control groups. Histological analysis (including the prostate gland as a target organ, taking into account the pharmacological properties of the drug) showed that the tissue architecture was intact and there were no dystrophic, inflammatory, necrotic, or neoplastic changes.

Taken together, the data obtained indicate that “Caniprost” does not have hematotoxic, hepatotoxic, or nephrotoxic effects when administered orally at doses of 260 and 1300 mg/kg, and has a favorable safety profile. However, the use of a maximum dose of 2600 mg/kg is associated with reversible biochemical changes [1-3].

Библиографический список

1. Кравченко Ю. В., Сампиев А. М., Абрамов А. А. Безопасность нового комбинированного препарата. Сборник научных трудов Краснодарского научного центра. Краснодар, 2025. С. 112-118.

2. Семакова А. П., Германчук В. Г., Шавина Н. Ю. Современный подход к оценке качества лабораторных животных, используемых в экспериментальных целях. ЗНиСО. 2021. № 2. https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-podhod-k-otsenke-kachestva-laboratornyh-zhivotnyh-ispolzuemyh-v-eksperimentalnyh-tselyah

3. Миронов А. Н., Бунятян Н. Д. Исследования хронической токсичности в оценке безопасности лекарственных средств. Москва: ГРИФФ & К, 2012.

4. Савченко М. В., Лебедева Е. А. Гематологические и биохимические показатели крови при оценке токсичности лекарственных средств у крыс. Вестник экспериментальной биологии и медицины. 2019.№ 167 (5). С. 715-722.

5. ОЭСР. Руководство по проведению повторного 90-дневного перорального исследования токсичности у грызунов (Тест № 408). Париж: OECD Publishing; 2018.

6. McKim J. M. Jr. Building a tiered approach to in vivo toxicity testing for pharmaceuticals. Regul Toxicol Pharmacol. 2019. No 104. Pp. 1-8.

7. Петухова Т. Е. Метод взятия крови у мышей из периферической вены хвоста для исследования специфической активности эритропоэтина. Вестник ПГУ. Биология. 2023. № 2.

8. Afolabi S. O., Akindele A. J., Awodele O., Anunobi C. C., Adeyemi O. O. A 90-day chronic toxicity study of Nigerian herbal preparation DAS-77 in rats. BMC Complement Altern Med. 2012. V. 12. Art. 79.

9. Ding Y. et al. Potential hepatotoxicity of geniposide: Chronic toxicity and sub-chronic outcomes. International Journal Mol Sci. 2020. No 21 (2). Art. 531.

10. Tian J. et al. Oral chronic toxicity study of geniposide in rats. Food Chemistry Toxicology. 2018. No 118. Pp. 259-267.

11. Sato S., Kitamura H., Chino M. et al. 13-week oral dose sub-chronic toxicity study of gardenia yellow containing geniposide in rats. Food Chemistry Toxicology. 2007. No 45 (8). Pp. 1537-1544.

12. Safari Samangani M. S., Heydarian M., Farzaei M. H., et al. Acute and sub-chronic toxicity profile of Achillea wilhelmsii in Wistar rats. Rep Pharm Sci. 2025. No 13 (1). e164026.

13. Singh A., Ilango K. Acute and sub-chronic toxicity study of a novel polyherbal formulation in Wistar rats. Future Sci OA. 2024. No 10 (1). FSO910.

14. Park S. J. Acute and sub-chronic toxicological evaluation of the Korean herbal formula HAD-B1 in rats. Oxid Med Cell Longev. 2021. Art. 9970822.

References

1. Kravchenko Y. V., Sampiev A. M., Abramov A. A. Safety of a new combined preparation Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center. Krasnodar, 2025. Pp. 112-118.

2. Semakova A. P., Germanchuk V. G., Shavina N. Yu. Modern approach to assessing the quality of laboratory animals used for experimental purposes. ZNiSO. 2021 No 2. https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-podhod-k-otsenke-kachestva-laboratornyh-zhivotnyh-ispolzuemyh-v-eksperimentalnyh-tselyah

3. Mironov A. N., Bunyatyan N. D. Studies of chronic toxicity in safety assessment of drugs. Moscow: GRIFF & K, 2012.

4. Savchenko M.V., Lebedeva E.A. Hematological and biochemical blood parameters in toxicity assessment of drugs in rats. Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2019. No 167 (5). Pp. 715-722.

5. OECD. Guidance on repeated 90-day oral toxicity study in rodents (Test No. 408). Paris: OECD Publishing, 2018.

6. McKim J. M. Jr. Building a tiered approach to in vivo toxicity testing for pharmaceuticals. Regul Toxicol Pharmacol. 2019. No 104. Pp. 1-8.

7. Petukhova T. E. Method of taking blood from the peripheral tail vein of mice for the study of the specific activity of erythropoietin. Vestnik PGU. Biology. 2023. No. 2.

8. Afolabi S. O., Akindele A. J., Awodele O., Anunobi C. C., Adeyemi O. O. A 90-day chronic toxicity study of Nigerian herbal preparation DAS-77 in rats. BMC Complement Altern Med. 2012. V. 12. Art. 79.

9. Ding Y. et al. Potential hepatotoxicity of geniposide: Chronic toxicity and sub-chronic outcomes. International Journal Mol Sci. 2020. No 21 (2). Art. 531.

10. Tian J. et al. Oral chronic toxicity study of geniposide in rats. Food Chemistry Toxicology. 2018. No 118. Pp. 259-267.

11. Sato S., Kitamura H., Chino M. et al. 13-week oral dose sub-chronic toxicity study of gardenia yellow containing geniposide in rats. Food Chemistry Toxicology. 2007. No 45 (8). Pp. 1537-1544.

12. Safari Samangani M. S., Heydarian M., Farzaei M. H., et al. Acute and sub-chronic toxicity profile of Achillea wilhelmsii in Wistar rats. Rep Pharm Sci. 2025. No 13 (1). e164026.

13. Singh A., Ilango K. Acute and sub-chronic toxicity study of a novel polyherbal formulation in Wistar rats. Future Sci OA. 2024. No 10 (1). FSO910.

14. Park S. J. Acute and sub-chronic toxicological evaluation of the Korean herbal formula HAD-B1 in rats. Oxid Med Cell Longev. 2021. Art. 9970822.

Информация об авторах

Сампиев Абдулмуталип Магаметович, доктор фармацевтических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» (Российская Федерация, 350004, г. Краснодар, ул. 1-я Линия, 1); профессор кафедры, ФПО Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ФГБОУ ВО ВолГМУ Минздрава России (Российская Федерация, 357532, Ставропольский край, г. Пятигорск, пр. Калинина, 11), e-mail: sampiev_abdul@mail.ru

Кравченко Юрий Витальевич, аспирант, ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» (Российская Федерация, 350004, г. Краснодар ул. 1-я Линия, 1), e-mail: vektor.kriss@yandex.ru

Authors' Information

Sampiev Abdulmutalip Magametovich, Professor, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Senior Researcher, Krasnodar Scientific Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine (Russian Federation, 350004, Krasnodar, 1st Liniya Str., 1), Professor of the Department, Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – the branch of the Volgograd State Medical University (Russian Federation, 357532, Pyatigorsk, Kalinin Ave., 11), e-mail: sampiev_abdul@mail.ru

Kravchenko Yuriy Vitalievich, postgraduate student, Federal State Budgetary Scientific Institution "Krasnodar Scientific Center for Animal Husbandry and Veterinary Medicine" (Russian Federation, 350004, Krasnodar, 1st Liniya Str., 1), e-mail: vektor.kriss@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-42

THE PROMISING CANDIDATE GENES ASSOCIATED WITH THE DAIRY SHEEP PRODUCTIVITY

Surov A. I., Karpova E. D., Kononova L. V., Alimova V. R., Kolosov S. E.

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre
Mikhailovsk, Stavropol Region, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kononova-lidij@mail.ru

Received 21.04.2026 Submitted 22.05.2026

Abstract

Introduction. In recent years dairy sheep breeding has been seen as the effective and sustainable source of valuable livestock products. To further increase the efficiency of breeding dairy sheep, new breeding tools are needed. Genomic selection based on genetic markers contributes to increased milk productivity. Understanding the genetic factors that influence the quantitative and qualitative characteristics of milk is becoming a key step towards creating more productive populations of dairy sheep. The purpose of the study is to systematize modern data on promising candidate genes associated with sheep dairy productivity and assess the potential for their use in breeding programs. **Materials and methods.** The work used data from scientific publications from peer-reviewed domestic and foreign journals. The literature was searched in PubMed, Scopus, Web of Science, RSCI and Google Scholar. Methods of systematization, generalization and comparative evaluation of the results of association studies were used to identify genetic markers associated with sheep dairy productivity. **Results and conclusion.** The analysis made it possible to identify the six most significant candidate genes associated with the productivity of dairy sheep. The IGF-1 gene (insulin-like growth factor 1) acts as a key mediator of the somatotropic axis, regulates the growth and development of breast tissues, affects the protein content and the amount of milk yield. The POU1F1 gene encodes a tissue-specific transcription factor controlling the expression of prolactin, growth hormone and thyroid-stimulating hormone. The abdomen of the desired genotype for this gene is characterized by high milk yield, an increased content of fat and lactose in milk. The PPARG gene (peroxisome proliferator-activated receptor gamma) is a central regulator of lipid obmen and milk fat synthesis. The DGAT1 gene encodes the enzyme diacylglycerol O-acyltransferase 1, which catalyzes the final step in triglyceride synthesis and directly affects the fat and protein content of milk. The LPL (lipoprotein lipase) gene enables hydrolysis of lipoprotein triglycerides and transport of free fatty acids into the mammary gland. The SCD gene (stearoyl CoA desaturase) plays a central role in the formation of the fatty acid profile, catalyzing the conversion of saturated fatty acids to monounsaturated ones. Thus, the presented candidate genes involved in lipid metabolism (DGAT1, LPL, SCD, PPARG) and lactation regulation (IGF-1, POU1F1) are of high practical value for DNA marker selection. Their use will allow you to select animals with the best productive qualities (increased milk yield, high fat and protein content in milk).

Keywords: *dairy sheep farming, candidate genes, dairy productivity of sheep, sheep breeding.*

Citation. Surov A. I., Karpova E. D., Kononova L. V., Alimova V. R., Kolosov S. E. The promising candidate genes associated with the dairy sheep productivity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 383-392 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-42.

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

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

УДК 636.082.12:636.32/.38.034

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ГЕНЫ-КАНДИДАТЫ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ МОЛОЧНЫХ ОВЕЦ

Суров А. И., *доктор сельскохозяйственных наук*
Карпова Е. Д., *кандидат биологических наук*
Кононова Л. В., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
Алимова В. Р., *младший научный сотрудник*
Колосов С. Е., *младший научный сотрудник*

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
г. Михайловск, Ставропольский край, Российская Федерация

Актуальность. Молочное овцеводство в последние годы рассматривается как эффективный и устойчивый источник ценной животноводческой продукции. Для дальнейшего повышения эффективности разведения овец молочного направления необходимы новые селекционные инструменты. Геномная селекция, основанная на генетических маркерах, способствует повышению молочной про-

дуктивности. Выявление генетических детерминант, влияющих на количественные и качественные параметры молока, рассматривается как предпосылка повышения молочной продуктивности специализированных популяций овец. **Цель исследования** – систематизация актуальных сведений о генах-кандидатах, ассоциированных с молочной продуктивностью овец, и оценка возможности их использования в селекционных программах. **Материалы и методы.** Использованы данные публикаций из рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналов. Поиск литературы проводился в базах PubMed, Scopus, Web of Science, РИНЦ и Google Scholar. Для выявления генетических маркеров, связанных с молочной продуктивностью овец, были применены методы систематизации, обобщения и сравнительной оценки результатов ассоциативных исследований. **Результаты и заключение.** Проведённый анализ позволил выделить шесть наиболее значимых генов-кандидатов, ассоциированных с продуктивностью молочных овец. Ген *IGF-1* (инсулиноподобный фактор роста 1) выступает ключевым медиатором соматотропной оси, регулирует рост и развитие тканей молочной железы, влияет на содержание белка и величину удоя. Ген *POU1F1* кодирует тканеспецифичный фактор транскрипции, контролирующий экспрессию пролактина, гормона роста и тиреотропного гормона. Животные с предпочтительным генотипом по данному гену, как правило, демонстрируют более высокий удой и повышенное содержание жира и лактозы в молоке. PPARG (пероксисомный пролифератор-активируемый рецептор гамма) рассматривается как ключевой регулятор липидного обмена и биосинтеза молочного жира. DGAT1 кодирует диацилглицерол-О-ацилтрансферазу 1, катализирующую финальный этап синтеза триглицеридов, что ассоциируется с вариацией содержания жира и белка в молоке. Ген *LPL* (липопротеинлипаза) обеспечивает гидролиз триглицеридов липопротеинов и транспорт свободных жирных кислот в молочную железу. Ген *SCD* (стеароил-КоА-десатураза) играет центральную роль в формировании жирнокислотного профиля, катализируя превращение насыщенных жирных кислот в мононенасыщенные. Таким образом, представленные гены-кандидаты, участвующие в липидном обмене (*DGAT1*, *LPL*, *SCD*, *PPARG)* и регуляции лактации (*IGF-1*, *POU1F1*), представляют высокую практическую ценность для ДНК-маркерной селекции. Их использование позволит отбирать животных с наилучшими продуктивными качествами (повышенный удой, высокое содержание жира и белка в молоке).

Ключевые слова: *молочное овцеводство, гены-кандидаты, молочная продуктивность овец, селекция овец.*

Цитирование. Суров А. И., Карпова Е. Д., Кононова Л. В., Алимова В. Р., Колосов С. Е. Перспективные гены-кандидаты, ассоциированные с продуктивностью молочных овец. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 383-392. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-42.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В последнее время можно заметить, что интерес к молочному овцеводств, как к источнику молочной продукции растет [1]. Текущие селекционные программы помогли добиться существенного прогресса в увеличении надоев. В мировой молочной овцеводческой отрасли к самым продуктивным и известным породам относятся: восточно-фризская, лакон, сардская, авасси, ассаф, манчега и другие [2]. Следовательно, для дальнейшего развития отрасли и удовлетворения растущего спроса потребителей необходимо повысить эффективность разведения животных.

Перспективным подходом к решению данной задачи считается геномная селекция, основанная на выявлении и применении маркеров, ассоциированных с молочной продуктивностью [3]. Уровень синтеза молока и его компонентов преимущественно определяется наследственными факторами, тогда как экспрессия отдельных генов может модифицироваться условиями среды. Использование современных селекционных методов позволяет повышать генетический потенциал молочных овец, увеличивая объем производства и целенаправленно корректируя состав молока с учетом его пищевой ценности и технологических свойств. Выявление детерминант количественных и качественных показателей молока служит основой для формирования более продуктивных популяций и, в более широком смысле, для поддержки продовольственной безопасности страны [4].

Цель исследования – систематизация современных данных о перспективных генах-кандидатах, связанных с молочной продуктивностью овец и оценка возможности их применения в селекционных программах.

Материалы и методы. В качестве материала для исследования были использованы данные научных публикаций в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, посвященных генетике молочной продуктивности овец за период 2016-2026 гг. Поиск литературы проводился в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, РИНЦ, Google Scholar.

Методология включает систематический анализ, обобщение и сравнительную оценку результатов ассоциативных исследований (GWAS, candidate gene approach), направленных на идентификацию генетических маркеров, связанных с удоем и составом молока.

Результаты и обсуждение. Совокупность современных исследований, проведённых на различных породах молочных овец, выявила ряд генов-кандидатов, связанных с удоем, а также составом и качеством молока. Данный обзор обобщает данные по наиболее информативным генам, включая IGF-1, POU1F1, PPARG, DGAT1, LPL и SCD. Показано, что молочная продуктивность определяется не только генами белков молока, но и генами, участвующими в регуляции липидного и энергетического обмена, гормональных механизмов и процессов роста молочной железы, что указывает на многофакторную природу генетического контроля этих признаков (таблица 1).

Таблица 1 – Гены-кандидаты молочной продуктивности овец
Table 1 – Candidate genes for milk production in sheep

Ген / Gene	Полное название / Full name	Локализация / Localization	Функция / Function	Породы, в которых исследовался / Breeds in which it was studied	Источник / Source
1	2	3	4	5	6
IGF-1	Insulin like growth factor 1	3:171766875-171847317	Выступает ключевым медиатором соматотропной оси. Регулирует рост и развитие тканей, включая молочную железу. Ассоциирован с содержанием белка и казеина в молоке, а также с величиной удоя в разные лактации / It acts as a key media torus of the somatotropic axis. It regulates the growth and development of tissues, including the mammary gland. Associated with the co-retention of protein and casein in milk, as well as with the amount of milk yield in different lactation	Сардская (Sarda)	[5], [6], [7], [9], [13], [14], [20], [27]
POU1F1	POU class 1 homeo-box 1	1:156469654-156486908	Фактор транскрипции, регулирует экспрессию генов пролактина, гормона роста и тиреотропного гормона. Косвенно влияет на инициацию и поддержание лактации. Ассоциации полиморфизмов с продуктивными признаками различаются в зависимости от породы / Transcription factor, regulates the expression of the genes prolactin, growth hormone and thyroid-stimulating hormone. Indirectly affects the initiation and maintenance of the lactation. Associations of polymore fisms with productive traits vary by breed	Сардская (Sarda); иракские авасси (Iraqi Awassi); турецкие породы Sakiz, White Karaman, Awassi	[14], [15], [16]
PPARG	peroxi-some prolifera-tor-acti-vated receptor gamma	19:56641599-56764346	Ядерный рецептор, лиганд-активируемый фактор транскрипции. Ключевой регулятор адипогенеза, липидного обмена и синтеза молочного жира. Контролирует экспрессию липогенных генов (LPL, CD36, ACSL1, DGAT1 и др.). Экспрессия в молочной железе максимальна в период активной лактации / Nuclear receptor, ligand-activated transcription factor. Key regulator of adipogenesis, lipid metabolism and synthesis of milk fat. Controls the expression of lipogenic genes (LPL, CD36, ACSL1, DGAT1, etc.). Expression in the mammary gland is maximum during active lactation	Лакон (Lacaune)	[18], [21], [24]

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6
DGAT1	diacyl-glycerol O-acy-transfe-rase 1	9:13554986 -13569123	Микросомальный фермент, катализирует заключительный этап синтеза триглицеридов (этерификацию диацилглицерола с ацил-КоА). Определяет жирномолочность, оказывает влияние на белковомолочность и общий удой / Microsomal enzyme catalyzes the final step in the synthesis of triglycerides (esterification of diacylglycerol with acyl-CoA). Determines fat content, affects protein content and total milk yield.	Помесные хамдани (cross-bred Hamdani); баньолезе (Bagnolese); турецкие породы Kivircik, Karacabey Merino, Ramlic, Turkish Merino	[10], [14], [25]
LPL	lipopro-tein lipase	2:45916870 -45942109	Липопротеинлипаза, гидролизует триглицериды в составе хиломикронов и липопротеинов очень низкой плотности, обеспечивая поступление свободных жирных кислот в ткани. В молочной железе участвует в поглощении липидов из плазмы и синтезе молочного жира / Lipoprotein lipase hydrolyzes triglycerides in the co-section of chylomicrons and lipo-proteins of very low density, providing a step of free fatty acids in the tissue. In the mammary gland, it is involved in the absorption of lipids from plasma and the synthesis of milk fat.	Восточно-фризская (East Friesian); ассаф (Assaf)	[18], [22], [23]
SCD	stearoyl-CoA desatu-rase	22:21026048-21038058	Стеароил-КоА-десатураза катализирует введение двойной связи в насыщенные жирные кислоты, главным образом C16:0 и C18:0, с образованием мононенасыщенных производных (C16:1 и C18:1). Тем самым фермент является ключевым фактором, определяющим жирнокислотный профиль молока / Stearoyl-CoA desaturase catalyzes the introduction of a double bond into saturated fatty acids, primarily C16:0 and C18:0, to form monounsaturated derivatives (C16:1 and C18:1). This enzyme plays a crucial role in determining the fatty acid profile of milk.	Наджди (Najdi); иракские авасси (Iraqi Awassi); валле дель беличе (Valle del Belìce); помесные хамдани (cross-bred Hamdani)	[19], [26]

Примечание: данные о локализации генов приведены согласно базе данных NCBI (Genome Data Viewer, сборка ARS-UI_Ramb_v3.0 (GCF_016772045.2) для Ovis aries).
Note: Gene localization data is based on the NCBI database (Genome Data Viewer, build ARS-UI_Ramb_v3.0 (GCF_016772045.2) for Ovis aries).

В работе Dettori M. L., Pazzola M., Paschino P., Amills M., Vacca G. M. на овцах сардской породы было проведено исследование ассоциаций полиморфизмов генов *GHR*, *GHRHR* и *IGF1* с признаками молочной продуктивности. Авторы генотипировали 380 овец по 36 SNP и установили, что вариации в гене *IGF1* достоверно связаны с содержанием белка в молоке, что подтверждает значимость этого гена в формировании качественного состава молока [5].

Ген *IGF-1* (insulin-like growth factor 1) играет важную роль в регуляции лактации и молочной продуктивности у овец, выступая ключевым медиатором соматотропной оси. У овец локализован 3:171766875-171847317 ген IGF-1 кодирует полипептидный гормон, который вырабатывается в основном в печени в ответ на стимуляцию гормоном роста, действуя как эндокринный и паракринный фактор, регулирующий рост и развитие тканей, включая ткани молочной железы [5, 6]. Исследования, проведённые на овцах сардской по-

роды, выявили значимые ассоциации полиморфизмов гена *IGF-1* с признаками молочной продуктивности [7]. В частности, анализ трёх однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) в областях 5′UTR и экзона 3 показал, что животные с генотипом CC в позиции g.184028491 и генотипом AA в позиции g.184023223 имели достоверно более высокие надои во вторую, третью и четвёртую лактации по сравнению с другими генотипами [8]. Кроме того, в другом исследовании на той же породе было установлено, что вариации в гене *IGF-1* ассоциированы с содержанием белка в молоке, что подчёркивает его влияние не только на объём удоя, но и на качественный состав молочной продукции [9]. Полученные данные свидетельствуют о потенциале использования маркеров гена *IGF-1* в программах селекции для улучшения молочной продуктивности овец.

В работе Ozmen O., Kul S., Unal E. O. на турецких породах овец Sakiz, White Karaman и Awassi были выявлены однонуклеотидные полиморфизмы в 6-м экзоне и 3′-UTR области гена POU1F1, при этом у овец породы Sakiz генотип TT ассоциировался с более высокими надоями, а также с различиями по содержанию жира и лактозы в молоке [16]. Исследования Mura M. C., Daga C., Paludo M. и других авторов на овцах сардской породы позволили обнаружить два новых однонуклеотидных полиморфизма (121 C >T в 5′-UTR четвёртого интрона и 249 G > A в 3′-UTR шестого экзона), однако статистический анализ не подтвердил достоверной ассоциации этих SNP с удоем, содержанием жира или белка в молоке [11]. В работе AlKhuzai H.M. и AlAnbari N.N. на иракских овцах авасси также не было установлено значимой связи генотипов *POU1F1* с общим удоем и продолжительностью лактации [12].

Ген *POU1F1* (POU class 1 homeobox 1), также известный как *PIT1*, локализован у овец 1:156469654-156486908. Он кодирует тканеспецифичный фактор транскрипции, который регулирует экспрессию генов гормонов передней доли гипофиза – гормона роста (*GH*), пролактина (*PRL*) и тиреотропного гормона (*TSH*) [5, 13]. Поскольку пролактин непосредственно участвует в инициации и поддержании лактации, *POU1F1* оказывает косвенное, но физиологически важное влияние на молочную продуктивность. Тем не менее, результаты молекулярно-генетических исследований не демонстрируют прямой ассоциации полиморфизмов этого гена с хозяйственно полезными признаками у разных пород овец, что указывает на необходимость дальнейшего изучения регуляторных областей и расширения выборок животных [14, 15].

В исследовании Cardoso G. J., Ticiani E., Sandri E. C., De Oliveira D. E., проводимом на лактирующих овцах породы лакон (Lacaune) в различные фазы лактации (15, 70 и 120 дней), было обнаружено, что экспрессия гена *PPARG* в молочной железе изменяется в зависимости от стадии лактации, причём в ранний период (15-70 дней) наблюдается приоритетная направленность метаболизма на синтез молочного жира по сравнению с жировой тканью, что подтверждает ключевую роль данного гена в регуляции липидного обмена в период лактации [17].

Ген *PPARG* (peroxisome proliferator-activated receptor gamma, гамма-рецептор, активируемый пролифератором пероксисом) у овец локализирован 19:56641599-56764346. Данный ген кодирует ядерный рецептор, который функционирует как лиганд-активируемый фактор транскрипции и играет центральную роль в регуляции адипогенеза, липидного обмена, гомеостаза глюкозы и клеточной пролиферации. У овец экспрессия *PPARG* в молочной железе наиболее высока в период активной лактации. Таким образом, *PPARG* представляет собой перспективный ген-кандидат, направленный на улучшение жирномолочности и качественного состава молока у овец, однако требуется проведение дополнительных исследований для выявления конкретных полиморфизмов, ассоциированных с хозяйственно полезными признаками у разных пород [14].

В работе Turgut A. O., Koca D., Eroğlu M. на помесных овцах хамдани было установлено, что животные с гетерозиготным генотипом CT по гену *DGAT1* имели достоверно более высокое содержание жира в молоке по сравнению с носителями генотипа CC ($p < 0,05$), при этом значимых различий по содержанию белка, лактозы и сухого обезжиренного остатка не наблюдалось [14]. Исследования Bakhtiar R., Abdolmohammadi A., Hajarian H., Nikousefat Z., Kalantar-Neyestanaki D. на овцах сардской породы показали, что животные с генотипом CT по полиморфизму g.5553C>T гена *DGAT1* характеризовались более высоким процентом жира и белка в молоке по сравнению с особями, имеющими генотипы CC и TT ($p < 0,01$), что позволяет рассматривать данный SNP в качестве перспективного маркера для селекции [20].

Ген *DGAT1* (diacylglycerol O-acyltransferase 1, диацилглицерол О-ацилтрансфераза 1) у овец локализация 9:13554986-13569123. Данный ген кодирует микросомальный фермент, который катализирует заключительный этап синтеза триглицеридов – реакцию этерификации диацилглицерола с длинноцепочечными ацил-КоА. Структурно фермент *DGAT1* состоит из девяти трансмембранных α-спиралей (TM1-TM9) и трёх петель (EL1, IL1 и IL2), что обеспечивает его функциональную активность в мембране эндоплазматического ретикулума. *DGAT1* является ключевым ферментом метаболизма липидов и играет критическую роль в накоплении жира в адипоцитах, а также в синтезе молочного жира в эпителиальных клетках молочной железы в период лактации [21]. Результаты исследований на различных породах овец подтверждают значимость *DGAT1* как одного из основных генов-кандидатов, определяющих содержание жира в молоке, а также его потенциальное влияние на белковомолочность и общий удой. Таким образом, *DGAT1* представляет собой высокоперспективный маркер для селекции, направленной на повышение жирномолочности и улучшение технологических свойств молока у овец, однако необходимо проведение дальнейших исследований для выявления полной картины ассоциаций его полиморфизмов с хозяйственно полезными признаками у разных пород.

В работе Suárez-Vega A., Frutos P., Gutiérrez-Gil B., Esteban-Blanco C., Toral P. G., Arranz J. J., Hervás G. на овцах восточно-фризской породы было изучено влияние однонуклеотидных полиморфизмов в гене липопротеинлипазы (*LPL*) на основные параметры молока и профиль жирных кислот. Авторы генотипировали 139 овец по трём SNP в 3′-UTR области гена LPL и установили, что животные с комбинацией генотипов CTCTAT имели достоверно более высокое содержание жира и сухого вещества в молоке по сравнению с носителями комбинации CCCCAA [22].

Ген *LPL* (lipoprotein lipase, липопротеинлипаза) у овец породы восточно-фризская локализация 2:45916870-45942109. Данный ген кодирует фермент липопротеинлипазу, которая относится к семейству панкреатических липаз и играет ключевую роль в гидролизе триглицеридов, циркулирующих в составе липопротеинов (хиломикронов и липопротеинов очень низкой плотности), с высвобождением свободных жирных кислот для последующего захвата тканями [18, 22]. Фермент *LPL* состоит из девяти трансмембранных α-спиралей (TM1-TM9) и трёх петель (EL1, IL1 и IL2), что обеспечивает его функциональную активность в мембране эндоплазматического ретикулума. Исследования на овцах показали, что полиморфизмы в 3′-UTR-области гена *LPL* ассоциированы не только с содержанием жира и сухого вещества в молоке, но и с его жирнокислотным профилем: у животных с определёнными генотипами наблюдалось статистически более низкое содержание пальмитиновой кислоты и более низкое содержание гипохолестеринемических кислот, что имеет важное значение для технологических свойств молока и его пищевой ценности [23]. Кроме того, транскриптомные исследования подтвердили роль *LPL* как одного из ключевых генов, связанных с высокой конверсией потребления корма у молочных овец, что указывает на его значимость не только в метаболизме липидов, но и в общей физиологии лактации и конверсии корма. Следовательно, LPL может рассматриваться как перспективный ген-кандидат для ДНК-маркерной селекции, ориентированной на повышение жирномолочности и улучшение состава молока у овец, а также на оптимизацию эффективности использования кормов [24].

В работе Grisart B., Farnir F., Karim L. и других соавторов на овцах породы наджди были идентифицированы два однонуклеотидных полиморфизма в гене *SCD*: g.87C>A в промоторной области и g.1033G>A – во втором экзоне. Авторами установлено, что полиморфизм g.87C>A достоверно ассоциирован с содержанием пальмитиновой кислоты (C16:0), альфа-линоленовой кислоты (ALA – C18:3-n3), линолевой кислоты (LA – C18:2-n6) и общим содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в молоке [25]. В работе Tumino S., Matar A. M., Al-Garadi M. A. на овцах сицилийской породы валле дель беличе (Valle del Belìce) изучалась вариабельность гена SCD (g.87 C>A) в сочетании с двумя типами кормовых добавок. Хотя достоверного влияния генотипа на показатели удоя и состава молока обнаружено не было, авторы отмечают важность дальнейших исследований SCD как гена-кандидата, определяющего жирнокислотный профиль молока [26].

Ген *SCD* (stearoyl-CoA desaturase), также известный как *SCD1*, у овец локализован 22:21026048-21038058. Данный ген кодирует фермент стеароил-КоА-десатуразу, относящуюся к семейству десатураз жирных кислот и локализованную в мембране эндоплазматического ретикулума. SCD катализирует введение двойной связи между девятым и деся-

тым атомами углерода в насыщенных жирных кислотах, что приводит к образованию мононенасыщенных соединений; в частности, C16:0 и C18:0 преимущественно конвертируются в C16:1 и C18:1 соответственно [27]. В исследованиях на разных породах овец полиморфизмы SCD ассоциированы с профилем жирных кислот молока, а также с удоем и массовой долей жира [23]. В связи с этим SCD рассматривается как ген-кандидат для маркер-вспомогательной селекции, ориентированной на оптимизацию жирнокислотного состава и повышение пищевой ценности овечьего молока.

Современные исследования, охватывающие широкий спектр пород молочных овец, выявили ряд генов-кандидатов, связанных с удоем, составом и качеством молока. Показаны ассоциации отдельных однонуклеотидных полиморфизмов с содержанием белка, жира и лактозы, а также с казеином и жирнокислотным профилем. Эти результаты указывают на значимый вклад генетических механизмов в вариацию физиологических и продуктивных характеристик животных.

Заключение. Проведенный анализ свидетельствует, что генетическая детерминация молочной продуктивности овец носит комплексный характер: она связана как с генами, влияющими на синтез молока, так и с их взаимодействиями, регулирующими липидный и энергетический обмен, гормональные механизмы и развитие молочной железы. В первую очередь свой интерес представляют гены, которые связаны с липидным обменом, а именно: *DGAT1, LPL, SCD и PPARG*, потому что они оказывают влияние на жирномолочность и жирнокислотный состав самого молока. Не менее важными являются *IGF-1* и *POU1F1,* они участвуют в регуляции лактации и связаны с уровнем удоя и белка в молоке. Выявленные гены-кандидаты и их полиморфизмы, достоверно связаны с такими показателями, как удой, содержание белка, жира, лактозы и жирнокислотный профиль молока и они, несомненно, являются перспективными маркерами для использования их в программах разведения и селекции овец. Несмотря на значительный прогресс, полное понимание генетических основ молочной продуктивности и их эффективное применение в селекции требуют дальнейших углубленных исследований. Ключевые направления на перспективу: изучение регуляторных участков генов с обязательным увеличением числа исследуемых животных (в особенности к породам овец, разводимым в нашей стране) и проведение комплексного анализа ассоциаций полиморфизмов с хозяйственно-полезными признаками.

Conclusion. The analysis shows that the genetic determination of sheep's milk production is complex, involving both genes that affect milk synthesis and their interactions that regulate lipid and energy metabolism, hormonal mechanisms, and mammary gland development. Of particular interest are the genes associated with lipid metabolism, such as DGAT1, LPL, SCD, and PPARG, as they influence the fat content and fatty acid composition of milk. IGF-1 and POU1F1 are equally important, as they are involved in the regulation of lactation and are associated with milk yield and protein content. The identified candidate genes and their polymorphisms are significantly associated with indicators such as milk yield, protein content, fat content, lactose content, and the fatty acid profile of milk, and they are undoubtedly promising markers for use in sheep breeding and selection programs. Despite the significant progress, a full understanding of the genetic basis of dairy productivity and its effective application in breeding require further in-depth research. Key areas for the future include the study of regulatory regions of genes, with a mandatory increase in the number of animals under study (especially for breeds of sheep bred in our country), and the implementation of a comprehensive analysis of polymorphisms associations with economically useful traits.

Библиографический список

1. Амерханов Х. А., Салаев Б. К., Юлдашбаев Ю. А. Тенденции развития мясного и молочного овцеводства в мире и России. Международный журнал аграрной науки и образования. 2025. № 1 (5). С. 40-46.
2. Карпова Е. Д., Кононова Л. В., Евлагина Д. Д., Фирсова А. М., Алимова В. Р., Колосов С. Е., Горлов И. Ф. Идентификация генетических маркеров в селекции молочного овцеводства с помощью молекулярно-генетических методов. Известия НВ АУК. 2025. № 4 (82). С. 355-366.
3. Фирсова А. М. и др. Применение селекционно-генетических методов в молочном овцеводстве. Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве: сборник докладов III международной молодежной конференции. Обнинск: НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ, 2024. С. 91-95.
4. Суров А. И. и др. Экстерьерные показатели и морфологические особенности строения вымени овцематок разных генотипов. Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 5. С. 72-76.
5. Dettori M. L., Pazzola M., Paschino P., Amills M., Vacca G. M Association between the GHR, GHRHR, and IGF1 gene polymorphisms and milk yield and quality traits in Sarda sheep. Journal of dairy science. 2018. V. 101. No 11. Pp. 9978-9986.
6. Sebastiano L. et al. Polymorphism of insulin-like growth factor 1 gene and its relationship with reproductive performances and milk yield in Sarda dairy sheep. Veterinary and Animal Science. 2020. V. 9. Art. 100084.
7. Abdolmohammadi A., Zamani P. SNP exploring in the middle and terminal regions of the IGF-1 gene and association with production and reproduction traits in Holstein cattle. Gene 540. 2014. No 1. Pp. 92-95.

8. Aali M., Shahrbabak M. M., Shahrb-abak H. M., Sadeghi M. Identifying novel SNPs and allelic sequences of the stearoyl-Coa desaturase gene (SCD) in fat-tailed and thin-tailed sheep breeds. Biochemical genetics. 2014. V. 52. No 3. Pp. 153-158.

9. Darwish H. R. et al. New polymorphism in the 5′ flanking region of IGF-1 gene and its association with wool traits in Egyptian Barki sheep. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2017. V. 15. No 2. Pp. 437-441.

10. Pugliano M. G., Cosenza G., Emanuele D., Fulgione A., Murru N., Di Paolo M., Albarella S., Peretti V., Ciotola F. Milk traits characterization and association studies with DGAT1 polymorphisms in Bagnolese sheep. Animal Bioscience. 2024. V. 38. No 5. Art. 863.

11. Mura M. C., Daga C., Paludo M., Luridiana S., Pazzola M., Bodano S., Dettori M. L., Vacca G. M., Carcangiu V. Analysis of polymorphism within POU1F1 gene in relation to milk production traits in dairy Sarda sheep breed. Molecular biology reports. 2012. V. 39. No 6. Pp. 6975-6979.

12. Al-Khuzai H. M., Al-Anbari N. N. Relationship of POU1F1 gene polymorphism with some of economical traits in Iraqi Awassi ewes. Journal of Entomology and Zoology Studies. 2018. V. 6. No 2. Pp. 2082-2085.

13. Magalhães-Padilha D. M., Duarte A. B. G., Araújo V. R., Saraiva M. V. A., Almeida A. P., Rodrigues G. Q., Matos M. H. T., Cam-pello C. C., Silva J. R., Gastal M. O., Gastal E. L. Steady-state level of insulin-like growth factor-I (IGF-I) receptor mRNA and the effect of IGF-I on the in vitro culture of caprine preantral follicles. Theriogenology. 2012. V. 77. No 1. Pp. 206-213.

14. Turgut A. O., Koca D., Eroğlu M. Association of DGAT1 and POU1F1 Gene Polymorphisms with the Milk Traits in the Cross-Bred Hamdani Sheep Bred Under Extensive Management. Veterinary Medicine and Science. 2025. No 11 (5). e70565.

15. Aboelenin Mohamad M. et al. Association of Genetic Polymorphisms of POU1F1 Gene on Twin Production in Egyptian Sheep and Goats. Journal of Biological Sciences. 2022. V. 15. No 5.

16. Ozmen O., Kul S., Unal E. O. Polymorphism of sheep POU1F1 gene exon 6 and 3'UTR region and their asso-ciation with milk production traits. Iranian journal of veterinary research. 2014. V. 15. No 4. Art. 331.

17. Cardoso G. J., Ticiani E., Sandri E. C., De Oliveira D. E. Expression of selected lipogenic genes and fatty acid transporters changes across stages of lactation in dairy ewes. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 2020. V. 23. No 3.

18. Ataç F., Gevrekçi Y., Takma Ç., Akkaya F., Yılmaz M. C., Ayyılmaz T., Yegenoglu D. Bioinformatical evaluation of PPARA and PPARG candidate genes for milk quality characteristics in Turkish Saanen goats. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University. 2022. V. 39. No 2. Pp. 77-84.

19. Turgut A. O., Gülendağ E., Küçük M., Koca D., Ayan A., Eroğlu M., Önen M. F. An Investigation of Polymorphism on the FASN, SCD1, and SLC27A3 Genes in Sheep. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology. 2024. V. 12. No 10. Pp. 1812-1816.

20. Bakhtiar R. et al. Investigation of the 5′ flanking region and exon 3 polymorphisms of IGF-1 gene showed moderate association with semen quality in Sanjabi breed rams. Theriogenology. 2017. V. 104. Pp. 186-191.

21. Bionaz M., Chen S., Khan M. J., Loor J. J. Functional role of PPARG in ruminants: Potential targets for fine-tuning metabolism during growth and lactation. PPAR research. 2013. No 1. Art. 684159.

22. Suárez-Vega A., Frutos P., Gutiérrez-Gil B., Esteban-Blanco C., Toral P. G., Arranz J. J., Hervás G Feed efficiency in dairy sheep: An insight from the milk transcriptome. Frontiers in Veterinary Science. 2023. No 10. Art. 1122953.

23. Ward R. J., Travers M. T., Richards S. E., Vernon R. G., Salter A. M., Buttery P. J., Barber M. C. Stearoyl-CoA desaturase mRNA is transcribed from a single gene in the ovine genome. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism. 1998. V. 1391. No 2. Pp. 145-156.

24. Weikard R., Kühn C., Goldammer T., Freyer G., Schwerin M. The bovine PPARGC1A gene: molecular characterization and association of an SNP with variation of milk fat synthesis. Physiological Genomics. 2005. V. 21. No 1. Pp. 1-13.

25. Grisart B., Farnir F., Karim L., Cambisano N., Kim J. J., Kvasz A., Mni M., Simon P., Frere J. M., Coppieters W., Georges M. Genetic and functional confirmation of the causality of the DGAT1 K232A quantitative trait nucleotide in affecting milk yield and composition. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2004. V. 101. No 8. Pp. 2398-2403.

26. Tumino S., Matar A. M., Al-Garadi M. A. Identification of genetic polymorphisms in the stearoyl CoA desaturase gene and its association with milk quality traits in Najdi sheep. Frontiers in Veterinary Science. 2024. No 10. Art. 11257893.

27. Scatà M. C., Catillo G., Annicchiarico G., De Matteis G., Napolitano F., Signorelli F., Moioli B. Investigation on lactation persistency and IGF-I gene polymorphisms in dairy sheep. Small Ruminant Research. 2010. V. 89. No 1. Pp. 7-11.

References

1. Amerkhanov Kh. A., Salaev B. K., Yuldashbaev Yu. A. Trends in the development of meat and dairy sheep breeding in the world and Russia. International Journal of Agrarian Science and Education. 2025. № 1 (5). Pp. 40-46.

2. Karpova E. D., Kononova L. V., Evlagina D. D., Firsova A. M., Alimova V. R., Kolosov S. E., Gorlov I. F. Identification of genetic markers in the selection of monolock sheep breeding using molecular genetic methods. News of the NV AUC. 2025. No 4 (82). Pp. 355-366.

3. Firsova A. M. et al. Application of selection and genetic methods in dairy sheep breeder. Genetic and radiation technologies in agriculture: collection of reports of the III international youth conference. Obninsk: Research Center "Kurchatov Institute" - VNIIRAE, 2024. Pp. 91-95.

4. Surov A. I. et al. Exterior indicators and morphological features of the structure of the udder of ewes of different genotypes. //Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2025. V. 39. No 5. Pp. 72-76.

5. Dettori M. L., Pazzola M., Paschino P., Amills M., Vacca G. M Association between the GHR, GHRHR, and IGF1 gene polymorphisms and milk yield and quality traits in Sarda sheep. Journal of dairy science. 2018. V. 101. No 11. Pp. 9978-9986.

6. Sebastiano L. et al. Polymorphism of insulin-like growth factor 1 gene and its relationship with reproductive performances and milk yield in Sarda dairy sheep. Veterinary and Animal Science. 2020. V. 9. Art. 100084.

7. Abdolmohammadi A., Zamani P. SNP exploring in the middle and terminal regions of the IGF-1 gene and association with production and reproduction traits in Holstein cattle. Gene 540. 2014. No 1. Pp. 92-95.

8. Aali M., Shahrbabak M. M., Shahrb-abak H. M., Sadeghi M. Identifying novel SNPs and allelic sequences of the stearoyl-Coa desaturase gene (SCD) in fat-tailed and thin-tailed sheep breeds. Biochemical genetics. 2014. V. 52. No 3. Pp. 153-158.

9. Darwish H. R. et al. New polymorphism in the 5′ flanking region of IGF-1 gene and its association with wool traits in Egyptian Barki sheep. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. 2017. V. 15. No 2. Pp. 437-441.

10. Pugliano M. G., Cosenza G., Emanuele D., Fulgione A., Murru N., Di Paolo M., Albarella S., Peretti V., Ciotola F. Milk traits characterization and association studies with DGAT1 polymorphisms in Bagnolese sheep. Animal Bioscience. 2024. V. 38. No 5. Art. 863.

11. Mura M. C., Daga C., Paludo M., Luridiana S., Pazzola M., Bodano S., Dettori M. L., Vacca G. M., Carcangiu V. Analysis of polymorphism within POU1F1 gene in relation to milk production traits in dairy Sarda sheep breed. Molecular biology reports. 2012. V. 39. No 6. Pp. 6975-6979.

12. Al-Khuzai H. M., Al-Anbari N. N. Relationship of POU1F1 gene polymorphism with some of economical traits in Iraqi Awassi ewes. Journal of Entomology and Zoology Studies. 2018. V. 6. No 2. Pp. 2082-2085.

13. Magalhães-Padilha D. M., Duarte A. B. G., Araújo V. R., Saraiva M. V. A., Almeida A. P., Rodrigues G. Q., Matos M. H. T., Campello C. C., Silva J. R., Gastal M. O., Gastal E. L. Steady-state level of insulin-like growth factor-I (IGF-I) receptor mRNA and the effect of IGF-I on the in vitro culture of caprine preantral follicles. Theriogenology. 2012. V. 77. No 1. Pp. 206-213.

14. Turgut A. O., Koca D., Eroğlu M. Association of DGAT1 and POU1F1 Gene Polymorphisms with the Milk Traits in the Cross-Bred Hamdani Sheep Bred Under Extensive Management. Veterinary Medicine and Science. 2025. No 11 (5). e70565.

15. Aboelenin Mohamad M. et al. Association of Genetic Polymorphisms of POU1F1 Gene on Twin Production in Egyptian Sheep and Goats. Journal of Biological Sciences. 2022. V. 15. No 5.

16. Ozmen O., Kul S., Unal E. O. Polymorphism of sheep POU1F1 gene exon 6 and 3'UTR region and their asso-ciation with milk production traits. Iranian journal of veterinary research. 2014. V. 15. No 4. Art. 331.

17. Cardoso G. J., Ticiani E., Sandri E. C., De Oliveira D. E. Expression of selected lipogenic genes and fatty acid transporters changes across stages of lactation in dairy ewes. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 2020. V. 23. No 3.

18. Ataç F., Gevrekçi Y., Takma Ç., Akkaya F., Yılmaz M. C., Ayyılmaz T., Yegenoglu D. Bioinformatical evaluation of PPARA and PPARG candidate genes for milk quality characteristics in Turkish Saanen goats. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University. 2022. V. 39. No 2. Pp. 77-84.

19. Turgut A. O., Gülendağ E., Küçük M., Koca D., Ayan A., Eroğlu M., Önen M. F. An Investigation of Polymorphism on the FASN, SCD1, and SLC27A3 Genes in Sheep. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology. 2024. V. 12. No 10. Pp. 1812-1816.

20. Bakhtiar R. et al. Investigation of the 5′ flanking region and exon 3 polymorphisms of IGF-1 gene showed moderate association with semen quality in Sanjabi breed rams. Theriogenology. 2017. V. 104. Pp. 186-191.

21. Bionaz M., Chen S., Khan M. J., Loor J. J. Functional role of PPARG in ruminants: Potential targets for fine-tuning metabolism during growth and lactation. PPAR research. 2013. No 1. Art. 684159.

22. Suárez-Vega A., Frutos P., Gutiérrez-Gil B., Esteban-Blanco C., Toral P. G., Arranz J. J., Hervás G Feed efficiency in dairy sheep: An insight from the milk transcriptome. Frontiers in Veterinary Science. 2023. No 10. Art. 1122953.

23. Ward R. J., Travers M. T., Richards S. E., Vernon R. G., Salter A. M., Buttery P. J., Barber M. C. Stearoyl-CoA desaturase mRNA is transcribed from a single gene in the ovine genome. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism. 1998. V. 1391. No 2. Pp. 145-156.

24. Weikard R., Kühn C., Goldammer T., Freyer G., Schwerin M. The bovine PPARGC1A gene: molecular characterization and association of an SNP with variation of milk fat synthesis. Physiological Genomics. 2005. V. 21. No 1. Pp. 1-13.

25. Grisart B., Farnir F., Karim L., Cambisano N., Kim J. J., Kvasz A., Mni M., Simon P., Frere J. M., Coppieters W., Georges M. Genetic and functional confirmation of the causality of the DGAT1 K232A quantitative trait nucleotide in affecting milk yield and composition. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2004. V. 101. No 8. Pp. 2398-2403.

26. Tumino S., Matar A. M., Al-Garadi M. A. Identification of genetic polymorphisms in the stearoyl CoA desaturase gene and its association with milk quality traits in Najdi sheep. Frontiers in Veterinary Science. 2024. No 10. Art. 11257893.

27. Scatà M. C., Catillo G., Annicchiarico G., De Matteis G., Napolitano F., Signorelli F., Moioli B. Investigation on lactation persistency and IGF-I gene polymorphisms in dairy sheep. Small Ruminant Research. 2010. V. 89. No 1. Pp. 7-11.

Информация об авторах

Суров Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Российская Федерация, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0002-3892-6621, e-mail: surov.stv@yandex.ru

Карпова Екатерина Дмитриевна, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Российская Федерация, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0002-3900-4434, e-mail: lucziwa@yandex.ru

Кононова Лидия Валентиновна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Российская Федерация, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0000-0003-3812-9099, e-mail: kononova-lidij@mail.ru
Алимова Валерия Руслановна, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Российская Федерация, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0009-0002-8352-1137, e-mail: alimova-lera-01@mail.ru
Колосов Сергей Евгеньевич, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Российская Федерация, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49), ORCID: 0009-0005-3880-3102, e-mail: serzh.kolosov.1999@mail.ru

Authors' Information

Surov Aleksandr Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre (Russian Federation, Stavropol Region, Mikhailovsk, Nikonov Str., 49), ORCID: 0000-0002-3892-6621, e-mail: surov.stv@yandex.ru
Karpova Ekaterina Dmitrievna, Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre (Russian Federation, Stavropol Region, Mikhailovsk, Nikonov Str., 49), ORCID: 0000-0002-3900-4434, e-mail: lucziwa@yandex.ru
Kononova Lidiya Valentinovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre (Russian Federation, Stavropol Region, Mikhailovsk, Nikonov Str., 49), ORCID: 0000-0003-3812-9099, e-mail: kononova-lidij@mail.ru
Alimova Valeria Ruslanovna, Junior Researcher, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre (Russian Federation, Stavropol Region, Mikhailovsk, Nikonov Str., 49), ORCID: 0009-0002-8352-1137, e-mail: alimova-lera-01@mail.ru
Kolosov Sergey Evgenievich, Junior Researcher, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre (Russian Federation, Stavropol Region, Mikhailovsk, Nikonov Str., 49), ORCID: 0009-0005-3880-3102, e-mail: serzh.kolosov.1999@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-43

THE EFFECT OF THE NEW DOMESTIC FODDER ADDITIVES ON THE EDILBAYEVSKAYA SHEEP BREED MEAT PRODUCTIVITY AND SLAUGHTER QUALITIES

[1]Chamurliev N. G., [1]Shperov A. S., [1]Abdulkhalikov A. M., [2]Mosolov A. A.

[1]Volgograd State Agrarian University
[2] Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: shperov2011@mail.ru

Received 15.04.2026 Submitted 18.05.2026

Abstract

Introduction. Improving the breeding and productive qualities of animals is inextricably linked to their proper feeding and meeting the nutritional needs of high-yielding animals during their intensive growth period. The Edilbayevskaya breed of sheep has outstanding meat and fat qualities, meeting the population's demand for lamb and hard fat. The use of new domestic feed additives in their diets has a positive impact on metabolic processes and can enhance the meat and slaughter qualities of young sheep. **Object.** The object of the study is natural feed additives, such as the lactulose-containing feed additive "Laktuvet-1" and the by-product of deep processing of corn, isomaltooligosaccharide (IMO). **Materials and methods.** The study was conducted on Edilbayevskaya sheep breed at the farm of Abdulkhalikov M. A. in the Svetloyarsky District of the Volgograd Region. **Results and conclusions.** A study of the indicators characterizing the meat productivity and slaughter qualities of Edilbayevskaya sheep breed indicates that the inclusion of domestic feed additives in the rations of young sheep allowed for an absolute increase in the live weight of sheep in the I and II experimental groups of 16.68 kg and 16.55 kg, respectively, compared to 14.42 kg in the control group. At the same time, the average daily gain in live weight of the rams in the I and II experimental groups was higher than that of the control rams by 18.85 and 17.91 g, respectively. A comparative analysis of the slaughter weight of the animals in the studies showed a significant advantage of the experimental rams over the control rams by 2.28 and 2.57 kg, or 8.75 and 9.86 %, respectively ($P<0.05$). At the same time, the slaughter yield of the rams in the I and II experimental groups was higher, at 51.92 % and 52.53 %, respectively, compared to 50.10 % in the control groups. The results of the deboning showed that the meat coefficient in the experimental groups was higher, ranging from 3.74 to 3.83, compared to 3.55 in the control groups. The cutting of the carcasses of lambs at the age of 8 months according to the variety composition shows that the lambs of the I and II experimental groups were superior to their peers in the control group in terms of yield of Grade I by 1.98 kg or 8.43 % ($P<0.05$) and 2.19 kg or 9.29 % ($P<0.05$). The results of our study indicate a positive effect of the new domestic feed additives "Laktuvet-1" and isomaltoligosaccharide (IMO) on the meat productivity and slaughter qualities of Edilbayevskaya sheep breed, which is expressed in an increase in the slaughter yield and meat coefficient.

Keywords: *rations for rams, Edilbayevskaya sheep breed, Lactuvet-1, Isomaltoligosaccharide (IMO), rams' meat productivity, carcasses morphological indicators, carcasses variety composition.*

Citation. Chamurliev N. G., Shperov A. S., Abdulkhalikov A. M., Mosolov A. A. The effect of the new domestic fodder additives on the Edilbayevskaya sheep breed meat productivity and slaughter qualities. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 392-397 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-43.

Authors' contribution. The team of authors of the present study, indicated in the article, took a direct part in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the present article have read and agreed to the submitted final version.
Conflict of Interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.32/.38.033+636.084/.087

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА МЯСНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И УБОЙНЫЕ КАЧЕСТВА БАРАНЧИКОВ ЭДИЛЬБАЕВСКОЙ ПОРОДЫ

[1]**Чамурлиев Н. Г.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]**Шперов А. С.,** *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
[1]**Абдулхаликов А. М.,** *аспирант*
[2]**Мосолов А. А.,** *доктор биологических наук, главный научный сотрудник*

[1]*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ*
[2]*Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции г. Волгоград, Российская Федерация*

Актуальность. Совершенствование племенных и продуктивных качеств животных неразрывно связано с их полноценным кормлением и обеспечением потребностей организма высокопродуктивных животных в питательных веществах в период их интенсивного роста. Эдильбаевская порода овец обладает выдающимися мясо-сальными качествами, способна удовлетворять потребности населения в баранине и тугоплавком курдючном жире. Использование в рационах кормления новых отечественных кормовых добавок положительно влияет на обменные процессы и способны повысить мясные и убойные качеств молодняка овец**. Объект.** В качестве объекта исследований выступают кормовые добавки природного происхождения – лактулозосодержащая кормовая добавка «Лактувет-1» и побочный продукт глубокой переработки кукурузы изомальтоолигосахарид (ИМО). **Материалы и методы.** Исследования проводились на поголовье баранчиков эдильбаевской породы в условиях КФХ Абдулхаликов М. А., Светлоярского района Волгоградской области. **Результаты и выводы.** Исследование показателей, характеризующих мясную продуктивность и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы, указывает, что включение отечественных кормовых добавок в рационы молодняка позволило получить абсолютный прирост живой массы баранчиков за весь период опыта в I и II опытных группах 16,68 кг и 16,55 кг против 14,42 кг в контрольной группе. При этом среднесуточный прирост живой массы баранчиков в I и II опытных группах был выше, чем у контрольных сверстников на 18,85 и 17,91 г соответственно. Сравнительный анализ убойной массы животных в исследованиях свидетельствует о достоверном превосходстве опытных баранчиков над контрольными сверстниками на 2,28 и 2,57 кг или 8,75 и 9,86 % соответственно($P < 0,05$). При этом убойный выход у баранчиков I и II опытных групп оказался выше и составил 51,92 и 52,53 % соответственно против 50,10 % у контрольных аналогов. Результаты обвалки показали, что коэффициент мясности в опытных группах был выше и колебался от 3,74 до 3,83 против 3,55 у контрольных аналогов. Разрубка туш баранчиков в 8-месячном возрасте по сортовому составу свидетельствует о превосходстве баранчиков I и II опытных групп над сверстниками контрольной группы по выходу I сорта на 1,98 кг или 8,43 % ($P < 0,05$) и 2,19 кг или 9,29 % ($P < 0,05$). Результаты нашего исследования указывают на положительное влияние новых отечественных кормовых добавок «Лактувет-1» и изомальтоолигосахарид (ИМО) на мясную продуктивность и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы, что выражается в повышении убойного выхода и коэффициента мясности.

Ключевые слова: *рационы баранчиков, эдильбаевская порода овец, «Лактувет-1», изомальтоолигосахарид (ИМО), мясная продуктивность баранчиков, морфологические показатели туши, сортовой состав туш.*

Цитирование. Чамурлиев Н. Г., Шперов А. С., Абдулхаликов А. М., Мосолов А. А. Влияние новых отечественных кормовых добавок на мясную продуктивность и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87).392-397. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-43.
Авторский вклад. Коллектив авторов настоящего исследования, указанного в статье принимал прямое участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и согласовали представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Овцы являются древнейшими из жвачных, пребывающих в одомашненном состоянии с 7 тыс. лет до нашей эры. Свое происхождение они ведут от нескольких форм диких баранов; наиболее вероятными предками являются муфлон и аргали, а также архар – разновидность аргали. Исключительно важное значение для населения Российской Федерации имеет мясная продуктивность овец, на долю курдючных и жирнохвостых пород приходится значительная доля производимой баранины и ценного жира. Товаропро-

изводителям для увеличения объёмов выпуска продукции необходимо задействовать все имеющиеся резервы организма животных, что в свою очередь потребует корректировки рационов кормления за счет использования кормовых добавок. Исследованиями Чамурлиева Н. Г., Чапуркиной О. В. (2015), Горшкова В. В. (2017), Молчанова А. В., Егоровой Е. А., Козина А. Н. (2020), Абдулмуслимова А. М., Арилова А. Н., Юлдашбаева Ю. А., и др. (2022), Церенова И. В., Квашниной М. А., Горлова И. Ф. (2023), Горлова И. Ф., Сложенкиной М. И., Церенова И. В., и др. (2024), Шперова А. С., Чамурлиева Н. Г., Чекуновой А. Л. (2024), Клементьева М. И., Двалишвили В. Г., Чабаева М. Г. (2025), Горлова И. Ф., Сложенкиной М. И., Николаева Д. В., и др. (2025), Лушникова В. П., Москаленко С. П., Кузнецова М. Ю., и др. (2026) установлено, что кормовые средства, используемые в рационах животных усиливают сложные биохимические процессы в их организме и в конечном итоге определяют различные темпы роста и развития. Цель наших исследований изучить влияние лактулозосодержащей кормовой добавки «Лактувет-1» и побочного продукта глубокой переработки кукурузы изомальтоолигосахарида (ИМО) на мясную продуктивность и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы.

Материал и методы. Экспериментальные исследования проведены на баранчиках эдильбаевской породы, отбитых от маток в 4-месячном возрасте. Для опыта сформировали 3 группы животных по 15 голов в каждой. Формирование групп животных проводили по методу пар-аналогов с учетом возраста, живой массы, состояния здоровья животных. Контрольная группа получала основной рацион, I опытная группа баранчиков дополнительно к основному рациону получала кормовую добавку «Лактувет-1», а II опытная изомальтоолигосахарид (ИМО), добавки вводили в концентраты при их скармливании.

Результаты и обсуждение. В начале научно-хозяйственного опыта средняя живая масса баранчиков в группах колебалась от 39,08 до 39,45 кг и достоверной разницы по этому показателю не установлено. В 6-месячном возрасте опытные баранчики I и II опытных групп превосходили контрольных аналогов на 1,34 кг или 2,89 % и 1,61 кг или 3,48 %. Установленные разницы между опытными животными и контрольной группой животных не были достоверны. В 8-месячном возрасте установлены достоверные различия по живой массе между баранчиками I и II опытных групп в сравнении с контрольными их аналогами на 2,58 кг или 4,82 % и 2,50 кг или 4,67 % соответственно.

За весь период опыта абсолютный прирост живой массы баранчиков в I и II опытных группах составил 16,68 кг и 16,55 кг против 14,42 кг в контрольной группе. При этом среднесуточный прирост живой массы баранчиков в I и II опытных группах был выше, чем у контрольных сверстников на 18,85 и 17,91 г соответственно.

Сравнительная оценка убойных качеств животных в эксперименте выявила превосходство опытных баранчиков над контрольными аналогами (таблица 1).

Таблица 1 – Убойные показатели баранчиков в 8-месячном возрасте (M±m) (n = 3)
Table 1 – Slaughter indicators of lambs at 8 months of age (M±m) (n=3)

Показатели / Indicators	Единица измерения / measurement unit	Группа / Group		
		Контрольная / Control	I опытная / Test 1	II опытная / Test 2
Масса тела предубойная / Pre-slaughter body weight	кг / kg	52,01 ± 0,52	54,56 ± 0,61*	54,48 ± 0,70*
Масса туши с курдюком / Carcass weight with fat tail	кг / kg	25,72 ± 0,44	27,92 ± 0,49*	28,14 ± 0,56*
Выход туши с курдюком / Carcass yield with fat tail	%	49,45	51,17	51,65
Масса внутреннего жира / Internal fat weight	кг / kg	0,33 ± 0,05	0,41 ± 0,06	0,48 ± 0,07
Выход внутреннего жира / Internal fat yield	%	0,63	0,75	0,88
Масса курдюка / Fat tail weight	кг / kg	3,15 ± 0,02	3,35 ± 0,04	3,34 ± 0,03
Выход курдюка / Fat tail yield	%	6,05	6,14	6,13
Убойная масса / Slaughter weight	кг / kg	26,05 ± 0,39	28,33 ± 0,41*	28,62 ± 0,42*
Убойный выход / Slaughter yield	%	50,1	51,92	52,53

* P < 0,05; ** P < 0,01; *** P< 0,001.

Высокие показатели массы парной туши отмечены у баранчиков I и II опытных групп 27,92 и 28,14 кг соответственно против 25,72 кг у контрольных сверстников. Превосходство опытных животных над контрольными колебалась от 2,2 до 2,42 кг или от 8,55 до 9,41 % и было достоверным (P < 0,05). По массе внутреннего жира максимальный показатель был у баранчиков II опытной группы – 0,48 кг, что на 0,07 кг выше по сравнению с I опытной группой и на 0,15 кг по сравнению с животными контрольной группы. В свою очередь баранчики I опытной группы по содержанию внутреннего жира превосходили контрольных аналогов на 0,08 кг.

По массе курдюка разница в пользу баранчиков I и II опытных групп по сравнению со сверстниками контрольной группы составила 0,20 и 0,19 кг или 6,35 и 6,03 %.

Сравнительный анализ убойной массы животных в исследованиях свидетельствует о достоверном превосходстве опытных баранчиков над контрольными сверстниками на 2,28 и 2,57 кг или 8,75 и 9,86 % соответственно(P < 0,05). При этом убойный выход у баранчиков I и II опытных групп оказался выше и составил 51,92 и 52,53 % соответственно против 50,10 % у контрольных аналогов.

Результаты проведенных анализов (таблица 2) показали, что более высокую массу мякоти имели животные I (17,94) и II опытных групп (18,18). Их аналоги с контрольной группы уступали по этому показателю баранчикам I опытной на 1,36 кг или 8,20 %, II опытной на 1,60 кг иди 9,65 % соответственно. По массе костей и сухожилий разница колебалась от 0,10 до 0,15 кг или на 1,76-2,65 % в пользу опытных животных в сравнении с их аналогами контрольной группы. Показатель отношения мышц к костям и сухожилиям оказался выше у опытных баранчиков (3,09 и 3,16) против 2,93 у контрольных сверстников Достоверной оказалась и разница в содержании суммы внутреннего и курдючного жира в пользу I и II опытных групп (P < 0,05) по сравнению с контрольной группой. Важный показатель – коэффициент мясности, характеризующий количество мякоти, приходящее на 1 кг костей, нами определен при обвалке туш животных. Результаты обвалки показали, что коэффициент мясности в опытных группах был выше и колебался от 3,74 до 3,83 против 3,55 у контрольных аналогов.

Таблица 2 – Морфологические показатели туши баранчиков в 8-месячном возрасте
Table 2 – Morphological indicators of lamb carcasses at 8 months of age

Показатели / Indicators	Единица измерения / measurement unit	Группа / Group		
		Контрольная / Control	I опытная / Test 1	II опытная / Test 2
Масса охлажденной туши / Mass of the chilled carcass	кг / kg	25,71 ± 0,41	27,50 ± 0,39*	27,75 ± 0,43*
Масса мякоти / Mass of the flesh	кг / kg	16,58 ± 0,32	17,94 ± 0,39*	18,18 ± 0,41*
Выход мякоти / Yield of the flesh	%	64,48	65,24	65,51
Масса костей и сухожилий / Mass of the bones and tendons	кг / kg	5,65 ± 0,06	5,80 ± 0,07	5,75 ± 0,08
Выход костей и сухожилий / Yield of the bones and tendons	%	21,98	21,09	20,73
Масса жира / Mass of the fat	кг / kg	3,48 ± 0,05	3,76 ± 0,06*	3,82 ± 0,07*
Выход жира / Fat yield	%	13,54	13,67	13,76
Отношение мышц к костям и сухожилиям / Fat yield ratio of muscles to bones and tendons		2,93	3,09	3,16
Коэффициент мясности / Meatiness coefficient		3,55	3,74	3,83
Площадь мышечного глазка / Area of the muscle eye	$см^2$ / cm^2	13,12 ± 0,18	14,32 ± 0,20*	14,41 ± 0,23*

Более высокие показатели площади мышечного глазка длиннейшего мускула спины имели баранчики I и II опытных групп 14,32 и 14,41 $см^2$ против 13,12 $см^2$ у контрольных сверстников. Достоверная разница в пользу баранчиков I и II групп составила 1,2 $см^2$ или 9,09 % (P < 0,05) и 1,29 $см^2$ или 9,83 % (P < 0,05).

Разрубка туш баранчиков в 8-месячном возрасте по сортовому составу (таблица 3) свидетельствует о превосходстве баранчиков I и II-опытных групп над сверстниками контрольной группы по выходу I сорта на 1,98 кг или 8,43 % (P < 0,05) и 2,19 кг или 9,29 % (P <0,05). Соответственно сравнительная оценка сортового состава туш опытных баранчиков достоверной разницы не выявила.

Таблица 3 – Показатель сортового состава туш (n=3)
Table 3 – Carcass variety composition (n=3)

Группа / Group	Выход по сортам / Output by grades			
	I сорт / First grade		II сорт / Second grade	
	кг	%	кг	%
Контрольная / Control	23,57 ± 0,38	91,68	2,14 ±	8,32
I опытная / Test 1	25,48 ± 0,46	92,67	2,02	7,33
II опытная / Test 2	25,76 ± 0,55	92,83	1,99	7,17

Заключение. Результаты проведённых исследований по изучению влияния новых отечественных добавок «Лактувет-1» и изомальтоолигосахарид (ИМО) на мясную продуктивность и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы указывают об их положительном эффекте оказываемом на организм животных, усилению обменных процессов у молодняка овец и как следствие повышение убойного выхода и коэффициента мясности.

Conclusion. The results of the conducted studies on the effect of new domestic additives "Laktuvet-1" and isomaltoligosaccharide (IMO) on the meat productivity and slaughter qualities of Edilbayevskaya sheep breed indicate their positive effect on the animal's body, enhancing metabolic processes in young sheep, and consequently increasing the slaughter yield and meat coefficient.

Библиографический список

1. Абдулмуслимов А. М., Арилов А. Н., Юлдашбаев Ю. А., Пахомова Е. В., Фейзуллаев Ф. Р. Продуктивность лактирующих овцематок в зависимости от уровня пробиотической кормовой добавки «Энервит». Овцы, козы, шерстяное дело. 2022. № 3. С. 38-42.
2. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Николаев Д. В., Гиро М. В., Воронцова Е. С., Суркова С. А., Абрамов С. В., Мосолова Е. А. Эффективность использования новых кормовых добавок при производстве продукции животноводства (обзор). Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 242-250.
3. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Церенов И. В., Громова А. О., Гишларкаев А. Е., Савчук С. В. Влияние пребиотических кормовых добавок на показатели роста и обменные процессы баранчиков на откорме. Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 1. С. 45-50.
4. Горшков В. В. Разработка научных основ функционального кормления крупного рогатого скота с использованием сельскохозяйственного и вторичного сырья, подвергнутого комплексным технологическим обработкам. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 9 (155). С. 125-129.
5. Клементьев М. И., Двалишвили В. Г., Чабаев М. Г. Влияние скармливания протеината селена на динамику массы тела, мясную продуктивность и переваримость кормов баранчиков романовской породы. Зоотехния. 2025. № 4. С. 33-37.
6. Лушников В. П., Москаленко С. П., Кузнецов М. Ю., Сивохина Л. А. Эффективность использования пробиотического препарата «Энзимспорин» при выращивании молодняка крупного рогатого скота герефордской породы. Аграрный научный журнал. 2026. № 2. С. 100-105.
7. Молчанов А. В., Егорова Е. А., Козин А. Н. Влияние витаминно-минерального премикса на убойные показатели и химический состав мяса баранчиков эдильбаевской породы. Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 1. С. 32-33.
8. Церенов И. В., Квашнина М. А., Горлов И. Ф. Влияние пребиотических добавок на состав и свойства курдючного жира баранчиков калмыцкой породы. Аграрно-пищевые инновации. 2023. № 3 (23). С. 29-42.
9. Чамурлиев Н. Г., Чапуркина О. В. Влияние биологически активных добавок «Лактофит» и «Лактофлэкс» на качественные показатели мяса баранчиков волгоградской породы. Овцы, козы, шерстяное дело. 2015. № 3. С. 27-28.
10. Шперов А. С., Чамурлиев Н. Г., Чекунова А. Л. Продуктивные качества молодняка овец при использовании новой кормовой добавки «Бета-флора». Аграрно-пищевые инновации. 2024. № 1 (25). С. 45-53.

References

1. Abdullmuslimov A. M., Arilov A. N., Yuldashbaev Yu. A., Pakhomova E. V., Feyzullayev F. R. Productivity of lactating ewes depending on the level of the Enervit probiotic feed additive. Sheep, goats and wool production. 2022. No. 3. Pp. 38-42.
2. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Nikolaev D. V., Giro M. V., Vorontsova E. S., Surkova S. A., Abramov S. V., Mosolova E. A. The Effectiveness of Using New Feed Additives in the Production of Livestock Products (Review). Proceedings of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 1 (79). Pp. 242-250.
3. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Tserenov I. V., Gromova A. O., Gishlarkaev A. E., Savchuk S. V. Influence of prebiotic feed additives on growth indicators and metabolic processes of fattening lambs. Sheep, goats, wool production. 2024. No. 1. Pp. 45-50.
4. Gorshkov V. V. Development of scientific foundations of functional feeding of cattle using agricultural and secondary raw materials subjected to complex technological processing. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2017. No. 9 (155). Pp. 125-129.

5. Klementyev M. I., Dvalishvili V. G., Chabaev M. G. Influence of feeding selenium proteinate on body weight dynamics, meat productivity, and feed digestibility of Romanov sheep. Zootechnics. 2025. No. 4. Pp. 33-37.
6. Lushnikov V. P., Moskalenko S. P., Kuznetsov M. Yu., Sivokhina L. A. The Effectiveness of Using the Probiotic Drug Enzymsporin in Raising Young Hereford Cattle. Agrarian Scientific Journal. 2026. No. 2. Pp. 100-105.
7. Molchanov A. V., Egorova E. A., Kozin A. N. Influence of vitamin-mineral premix on slaughter indicators and chemical composition of meat of lambs of the Edilbaevskaya breed. Sheep, goats, wool business. 2020. No. 1. Pp. 32-33.
8. Tserenov I. V., Kvashnina M. A., Gorlov I. F. Influence of prebiotic additives on the composition and properties of fat tail of Kalmyk sheep. Agrarian and food innovations. 2023. No. 3 (23). Pp. 29-42.
9. Chamurliev N. G., Chapurkina O. V. Influence of biologically active additives "Laktofit" and "Laktoflex" on the quality indicators of meat of ram lambs of the Volgograd breed. Sheep, goats, wool business. 2015. No. 3. Pp. 27-28.
10. Shperov A. S., Chamurliev N. G., Chekunova A. L. Productive qualities of young sheep when using the new feed additive "Beta-flora". Agrarian and food innovations. 2024. No. 1 (25). Pp. 45-53.

Информация об авторах
Чамурлиев Нодари Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: zootexnia@mail.ru
Шперов Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: shperov2011@mail.ru
Абдулхаликов Абдулла Махмудович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: zootexnia@mail.ru
Мосолов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, г. Волгоград, ул. им. Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information
Chamurliev Nodari Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: zootexnia@mail.ru
Shperov Aleksandr Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: shperov2011@mail.ru
Abdulkhalikov Abdulla Makhmudovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: zootexnia@mail.ru
Mosolov Aleksandr Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-44

THE MILK PRODUCTION INDICATORS VARIABILITY AND INTERRELATION OF THE JERSEY COWS' DIFFERENT LINES AND GENERATIONS

[1]Chekhranova S. V., [1]Kulenko V. O., [1]Nikolaev S. I., [1]Vodyannikova V. V., [1]Karapetyan A. K., [2]Kornilova E. V., [3]Kashirina L. G.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]Cherkizovo Scientific Research Center
Moscow, Russian Federation
[3]Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 28.02.2026 Submitted 05.06.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 14.05.2018 no. D/A-2429-18 on the topic: "The effect of using a granular mineral and vitamin complex in cattle diets".

Abstract

Introduction. Currently, the breeding and improvement of the Jersey cattle breed is receiving increasing attention in the Russian Federation. When organizing breeding efforts, it is necessary to consider the variability of the main economically useful traits, as well as the nature of the relationships between them. The objective of the study was to investigate the variability and relationships between milk productivity indicators in Jersey cows of different lines and generations at a farm owned by the Molvest company. **Materials and methods.** The study analyzed milk yield indicators over 305 days of lactation, as well as the fat and protein content in milk during the first three lactations in cows of different lines and generations. Coefficients of variation for the studied traits were calculated, and correlations between them were examined. **Results and conclusions.** It was found that daughter cows, regardless of lineage, have lower coefficients of variation for the main economically useful traits. Moreover, daughter cows of the Glenmore 157911 line had superiority over their mothers in milk yield (+41.14 kg, +86.63 kg, +46.47 kg) and fat content (+0.15 pp, +0.32 pp, +0.05 pp) in milk based on the results of all analyzed lactations. The offspring of the Secret Signal Observer 53236 line had higher milk yield indicators for the 1st (+12.46 kg) and 3rd lactations (59.22 kg), and in milk fat content – for the 1st (+0.21 pp) and 2nd lactations (+0.24 pp). When analyzing the correlation coefficients, it was found that the nature and magnitude of the relationship between the milk productivity indica-

tors of cows of different generations varies. The observed pattern of decreased variability in economically valuable traits in offspring compared to their mothers indicates selective breeding within the herd to achieve the desired outcome. Correlations are observed at different levels and directions among representatives of different generations. This is due to both hereditary factors and the varying variability of traits, as well as the duration of selection efforts to achieve the desired milk production indicators.

Keywords: cows *dairy productivity, Jersey cows, lines of cows, Jersey cattle breed, dairy cattle breeding, signs of cow dairy productivity.*

Citation. Chekhranova S. V., Kulenko V. O., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Karapetyan A. K., Kornilova E. V., Kashirina L. G. The milk production indicators variability and interrelation of the Jersey cows' different lines and generations. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 397-406 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-44.
Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the final version presented.
Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.2.034+636.2.082.2

ИЗМЕНЧИВОСТЬ И ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ У ДЖЕРСЕЙСКИХ КОРОВ РАЗНЫХ ЛИНИЙ И ГЕНЕРАЦИЙ

[1]**Чехранова С. В.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[1]**Куленко В. О.,** *аспирант*
[1]**Николаев С. И.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]**Водянникова В. В.,** *доктор биологических наук, доцент*
[1]**Карапетян А. К.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[2]**Корнилова Е. В.,** *доктор сельскохозяйственных наук*
[3]**Каширина Л. Г.,** *доктор биологических наук, профессор*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]НИЦ «Черкизово»
г. Москва, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Рязанский ГАТУ имени П. А. Костычева
г. Рязань, 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. В настоящее время в Российской Федерации растет внимание к разведению и совершенствованию джерсейской породы скота. При организации селекционных мероприятий нужно учитывать изменчивость основных хозяйственно полезных признаков, а также характер взаимосвязи между ними. Цель исследований – изучение изменчивости и взаимосвязи показателей молочной продуктивности у джерсейских коров разных линий и генераций в условиях предприятия, принадлежащего компании «Молвест». **Материалы и методы.** В ходе исследования провели анализ показателей удоя за 305 дней лактации, содержания жира и белка в молоке за первые три лактации у коров разной линейной принадлежности и генерации. Были рассчитаны коэффициенты вариации изучаемых признаков, а также происследованы корреляционные взаимосвязи между ними. **Результаты и выводы.** Было установлено, что коровы-дочери независимо от линейной принадлежности имеют более низкие коэффициенты вариации основных хозяйственно полезных признаков. При этом коровы-дочери линии Гленмор 157911 имели превосходство над своими матерями по удоям (+41,14 кг, +86,63 кг, +46,47 кг) и содержанию жира (+0,15 п.п., +0,32 п.п., +0,05 п.п.) в молоке по результатам всех анализируемых лактаций. Потомки линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 обладали более высокими показателями по удою за 1-ю (+12,46 кг) и 3-ю лактации (59,22 кг), а по жиру в молоке – за 1-ю (+0,21 п.п.) и 2-ю лактации (+0,24 п.п.). При анализе коэффициентов корреляции было обнаружено, что характер и величина взаимосвязи между показателями молочной продуктивности коров разных генераций разнообразны. Выявленная закономерность снижения вариабельности хозяйственно полезных признаков потомков по сравнению с их матерями свидетельствует о проводимой со стадом селекции по закреплению желательного результата. У представительниц разных генераций корреляция отмечается на разных уровнях и направлениях. Это связано как с наследственными факторами, так и с различной вариабельностью признаков, а также с продолжительностью селекционных мероприятий по закреплению желательных показателей молочной продуктивности.

Ключевые слова: *молочная продуктивность коров, коровы джерсейской породы, линии коров, джерсейская порода КРС, селекция молочного скота, признаки молочной продуктивности коров.*

Цитирование. Чехранова С. В., Куленко В. О., Николаев С. И., Водянникова В. В., Карапетян А. К., Корнилова Е. В., Каширина Л. Г. Изменчивость и взаимосвязь показателей молочной продуктивности у джерсейских коров разных линий и генераций. Известия НВ АУК. 2026. 3(87). 397-406. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-44.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие молочного скотоводства играет ключевую роль в обеспечении населения страны важнейшими продуктами питания. Для увеличения объемов производства молока необходимо соблюдение таких условий, как наличие поголовья с высоким генетическим потенциалом и совершенствование кормовой базы. Одним из эффективных способов повышения эффективности разведения животных в молочном скотоводстве остаётся целенаправленная селекционная работа [7].

Фенотипическая изменчивость между животными и знание ее структуры выступают обязательными условиями для эволюционного развития молочного стада. В связи с этим ключевой задачей при планировании селекционной работы является комплексный анализ компонентов фенотипической изменчивости. Эффективность племенной работы зависит от создания достаточного разнообразия по хозяйственно полезным признакам внутри селекционных групп [12].

Для достижения намеченных целей необходимо определить направление селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом и, в первую очередь, параметры основных признаков, по которым животные будут отбираться в различные селекционные группы [13].

С целью развития молочного скотоводства применяется комплекс мероприятий, направленных на улучшение популяции скота. Эти мероприятия основаны на критическом анализе и выборе подходящих животных для дальнейшего разведения с целью повышения производительности и улучшения качества молока [17].

Уровень молочной продуктивности коров определяется комплексом внешних и внутренних факторов. К числу внутренних факторов специалисты относят происхождение животных. Организация селекционно-племенной работы с применением высокопродуктивных животных способствует повышению эффективности реализации генетического потенциала в последующих поколениях. Многочисленными исследованиями отмечается тенденция возрастания удоев от генерации к генерации. Продуктивность дочерей, как правило, превышает показатели матерей. Регулярный мониторинг и детальный анализ любых прогрессов и регрессов показателей в стаде существенно повышают эффективность племенной работы. Зачастую преимущество дочерей наблюдается не только по удою, но и по содержанию в молоке жира и белка, причем как в первую, так и в последующие лактации. Важно принимать во внимание изменчивость признаков, которая может быть различной как в каждом отдельно взятом стаде, так и внутри генерации [3]. Эффективность молочного скотоводства можно повысить за счет реализации генетического потенциала животных при анализе данных продуктивности их предков [5].

На сегодняшний день в Российской Федерации наблюдается рост интереса к разведению пород крупного рогатого скота, обладающих высокой жирно- и белковомолочностью. Молоко таких пород в наибольшей степени отвечает требованиям, предъявляемым к сырью для производства сливочного масла и высококачественных белковых продуктов [16].

К группе таких животных можно отнести джерсейскую породу скота. Продуктивность коров данной породы не так высока по сравнению с голштинскими коровами, однако среди достоинств выделяют более высокое содержание в молоке массовой доли жира и белка, а также лучшую конверсию корма, хорошие адаптивные качества и устойчивость к болезням [8, 9].

Эффективность селекционной работы по показателям молочной продуктивности и их изменчивости определяется совокупностью генетических и паратипических факторов [6]. Одним из главных генетических факторов, влияющих на продуктивные качества коров, является принадлежность к линии быков-производителей [10].

На основании вышесказанного целью исследования явилось изучение изменчивости и взаимосвязи показателей молочной продуктивности у джерсейских коров разных линий и генераций в условиях предприятия, принадлежащего компании «Молвест». Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи исследований: провести анализ молочной продуктивности коров за первые три лактации в зависимости от линейной

принадлежности и генерации; определить коэффициенты изменчивости хозяйственно полезных признаков; установить коэффициенты корреляции между хозяйственно полезными признаками коров разных генераций и линейной принадлежности.

Материалы и методы. Объектом настоящих исследований были выбраны коровы джерсейской породы. Первичным материалом для оценки молочной продуктивности коров-дочерей и коров-матерей по результатам первых трёх лактаций служили данные, полученные на основании отчетов из информационно-аналитической системы «Селэкс» в условиях одного из предприятий Воронежской области, принадлежащего компании «Молвест». Цифровой материал по удою за 305 дней лактации, содержанию жира и белка в молоке был подвергнут биометрической обработке с применением описательной статистики программного пакета Microsoft Excel и установлением достоверности разницы по критериям Стьюдента. Данные были проанализированы по 139 парам коровы-дочери и коровы-матери, принадлежащие линии Гленмор 157911, и 124 парам – линии Секрет Сигнал Обсервер 553236. По анализируемым хозяйственно полезным признакам был произведен расчет коэффициентов вариации (изменчивости) Cv (%), а также установлены корреляционные взаимосвязи между удоем и качественными показателями молока в разных генерациях и в зависимости от линейной принадлежности.

Результаты исследований и их обсуждение. Большое значение в организации селекционно-племенной работы в скотоводстве играет проведение анализа показателей молочной продуктивности коров в зависимости от их происхождения (линии), так как признаки молочной продуктивности наследуются потомками от их родителей [14].

В связи с этим был проведен анализ показателей молочной продуктивности коров разных генераций (дочери и матери) в зависимости от их линейной принадлежности, что представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Молочная продуктивность джерсейских коров разных генераций за первые три лактации
Table 1 – Milk production of Jersey cows of different generations during the first three lactations

Линия / Line	Генерации / Generation	Лактация / Lactation	Показатель / Indicator					
			Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg		Массовая доля жира, % / Fat content, %		Массовая доля белка, % / Protein content, %	
			$X \pm S_x$	Cv, %	$X \pm S_x$	Cv, %	$X \pm S_x$	Cv, %
Гленмор 157911 / Glenmore 157911 (n=139)	Д	1	5630,27 ± 84,93	17,78±1,07	6,03± 0,04*	8,64±0,52	3,66± 0,02	5,86±0,35
		2	6628,79 ± 92,61	16,47±0,99	6,11± 0,04***	7,12±0,43	3,92± 0,03	8,98±0,54
		3	6633,86 ± 95,98	17,06±1,02	5,90± 0,03	5,40±0,32	4,24± 0,03***	8,14±0,49
	М	1	5589,13± 95,76	19,38±1,16	5,88± 0,05	9,22±0,55	3,69± 0,03	8,30±0,50
		2	6542,16± 136,13	20,28±1,22	5,79± 0,06	9,36±0,56	3,90± 0,04	9,18±0,55
		3	6587,39± 155,93	20,50±1,23	5,85± 0,06	9,00±0,54	3,94± 0,04	7,79±0,47
Секрет Сигнал Обсервер 53236 / Secret Signal Observer 53236	Д	1	5606,38 ±88,91	17,59±1,12	6,06± 0,04**	8,17±0,52	3,71± 0,02	6,18±0,39
		2	6193,34 ±113,99	20,49±1,30	6,09± 0,04**	7,31±0,46	3,84± 0,03	7,53±0,48
		3	6709,70 ±91,76	15,23±0,97	5,92± 0,03	5,83±0,37	4,22± 0,03***	8,52±0,54
	М	1	5593,92± 101,42	20,03±1,27	5,85± 0,06	9,72±0,62	3,77± 0,04	8,80±0,56
		2	6214,18± 119,20	21,00±1,33	5,85± 0,06	9,42±0,60	3,85± 0,04	8,71±0,55
		3	6650,49± 170,31	21,12±1,34	5,94± 0,07	9,60±0,61	3,91± 0,05	9,52±0060

Примечание: достоверность разницы между аналогичными показателями разных генераций: *P > 0,95; **P > 0,99; ***P > 0,999.
Note: the reliability of the difference between similar indicators of different generations: *P > 0.95; **P > 0.99; ***P > 0.999.

По группам дочерей независимо от линейной принадлежности прослеживается тенденция увеличения удоев в плоть до 3-й лактации. Так повышение удоев коров-дочерей линии Гленмор 157911 к 3-й лактации по отношению к 1-й составило 1003,59 кг, или 17,82 %, линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 – 1103,32 кг, или 19,68 %. При этом у коров-матерей линии Гленмор 157911 удои за 2-ю и 3-ю лактацию значительных различий не имели (45,23 кг), а у коров-матерей линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 удой к 3-й лактации по сравнению со 2-й повысился на 436,31 кг.

Фенотипическая изменчивость хозяйственно полезных признаков играет важную роль в практике молочного скотоводства, особенно при целенаправленном отборе животных желательного типа. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что значительная изменчивость признаков создает материал для искусственного и естественного отбора [1, 4].

Наибольшей изменчивостью у коров-дочерей и коров-матерей отличались показатели удоя за 305 дней лактации. При этом стоит отметить, что наиболее высокая изменчивость по данному признаку отмечалась у коров-матерей. Так, коэффициент изменчивости по удою за 305 дней лактации у коров-матерей линии Гленмор 157911 составлял 19,38 % по результатам 1-й лактации и повысился до 20,50 к 3-й лактации. В то же время, у дочерей этой же линии изменчивость по удою колебалась в диапазоне от 16,47 % до 17,78 %. Вариабельность данного признака у коров-матерей линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 была наивысшей за 3-ю лактацию и составила 21,12 %, при этом изменчивость по удою за 305 дней первых трёх лактаций у их дочерей находилась в диапазоне от 15,23 % до 20,49 %.

Аналогичные закономерности были выявлены и по изменчивости содержания жира и белка в молоке. Вариабельность признака жирномолочности у коров-дочерей линии Гленмор 157911 была на уровне 5,40-8,64 %, в то время как за первые три лактации у их матерей этот признак колебался в диапазоне 9,00-9,22 %. По линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 изменчивость содержания жира в молоке коров-дочерей колебалась в пределах 5,83-8,17 %, у коров-матерей – в диапазоне 9,42-9,72 %.

Изменчивость массовой доли белка в молоке коров-дочерей линии Гленмор 157911 была на уровне 5,86 %, 8,98 % и 8,14 % соответственно номеру лактации. У их матерей изменчивость данного признака составляла 8,30 %, 9,18 и 7,79 % соответственно.

Вариабельность признака содержания в молоке коров-дочерей линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 белка находилась в диапазоне 6,18 % по 1-й лактации и 8,52 % к 3-й лактации. Изменчивость данного признака от 1-й к 3-й лактации у коров-матерей составляла 8,80 %, 8,71 % и 9,52 % соответственно.

Прослеживающаяся закономерность к уменьшению вариабельности признаков у коров-дочерей свидетельствует о начавшемся укреплении признаков и целенаправленной селекции в данном стаде.

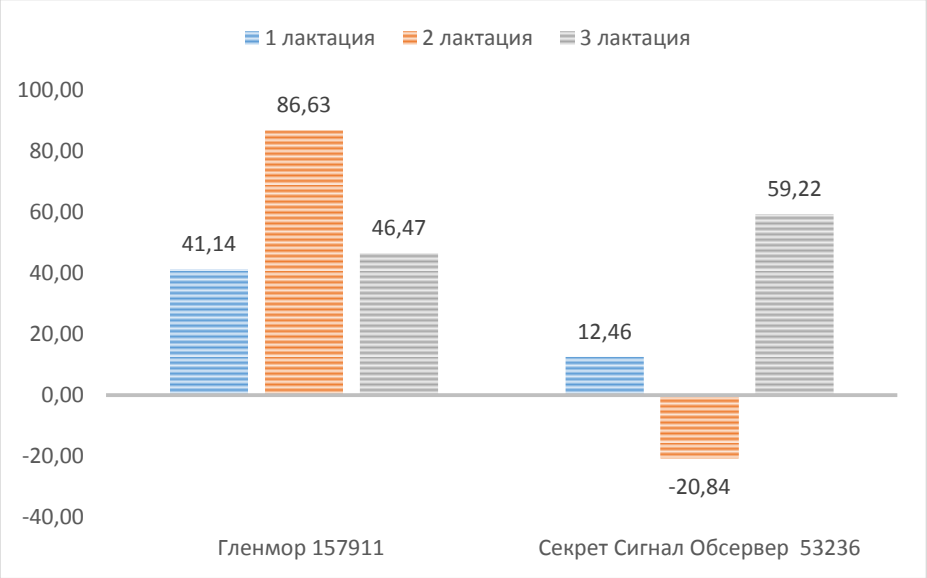


Рисунок 1 – Разница между удоями дочерей и матерей по лактациям, кг
Figure 1 – Difference between the milk yields of daughters and mothers by lactation, kg

Однако стоит отметить разницу в показателях между генерациями. Так, коровы-дочери Гленмор 157911 по результатам 1-й лактации имели удой 5630,27 кг, что выше аналогичного показателя их матерей на 41,14 кг. За 2-ю и 3-ю лактацию превосходство потомков над их предками составило 86,63 кг и 46,47 кг соответственно. Наглядно это отражено на рисунке 1.

Разница в пользу дочерей линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 над их матерями за 1-ю лактацию составила 12,46 кг, а вот по результатам 2-й лактации наблюдалось снижение уровня удоя у коров-дочерей по сравнению с их предками на 20,84 кг. Однако к 3-й лактации ситуация изменилась, и превосходство дочерей составило 59,22 кг.

Что касается содержания жира в молоке, то здесь тоже прослеживается тенденция улучшения данного параметра у коров дочерей по сравнению с их матерями. Так, у животных линии Гленмор 157911 данная разница составила 0,15 процентных пункта по 1-й лактации (P > 0,95), 0,32 процентных пункта по 2-й лактации (P > 0,999) и 0,05 процентных пункта по 3-й лактации (рисунок 2).

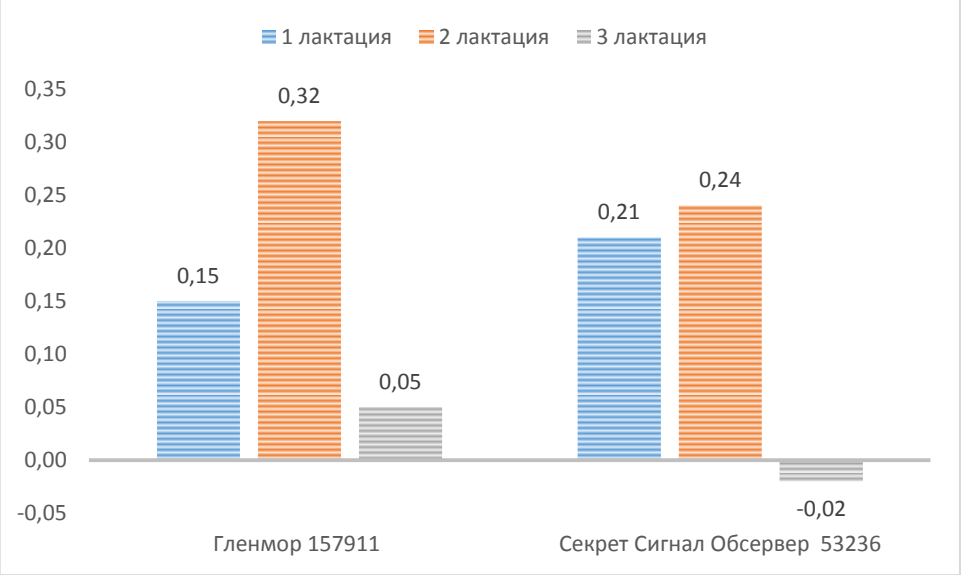


Рисунок 2 – Разница между содержанием жира в молоке дочерей и матерей по лактациям, процентные пункты
Figure 2 – Difference between the fat content in the milk of daughters and mothers by lactation, percentage points

У коров-дочерей линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 за первые две лактации наблюдалась аналогичная закономерность, разница в их пользу составила 0,21 и 0,24 процентных пункта, а за 3-ю лактацию произошло незначительное снижение данного показателя на 0,02 процентных пункта.

По белку в молоке отмечалась иная тенденция, что наглядно видно на рисунке 3. У коров-дочерей линии Гленмор 157911 по результатам 1-й лактации белка в молоке было ниже на 0,03 процентных пункта, чем у их матерей. Однако ко 2-й лактации ситуация изменилась, и превосходство дочерей по этому показателю оказалось равным 0,02 процентных пункта. А к 3-й лактации была обнаружена достоверная разница (P > 0,999) в пользу коров-дочерей, составившая 0,30 процентных пункта.

За 1-ю и 2-ю лактации коровы-дочери линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 имели показатель содержания в молоке белка ниже, чем их матери, соответственно на 0,06 и 0,01 процентных пункта, однако к 3-й лактации их превосходство возросло и составило 0,31 процентных пункта.

В селекции животных часто выявляется сопряженная изменчивость хозяйственно полезных признаков. Для установления связи между признаками, проявляющейся в их совместном изменении, рассчитывают корреляцию [15].

Важная роль корреляционного анализа состоит в том, что он позволяет более обоснованно проводить селекционные мероприятия при одновременном улучшении животных по хозяйственно полезным признакам. При положительной взаимосвязи можно обойтись

отбором по одному признаку, учитывая, что другие при этом не будут ухудшены. Если два признака связаны статистически значимой отрицательной корреляцией, то задача селекции усложняется [2, 11].

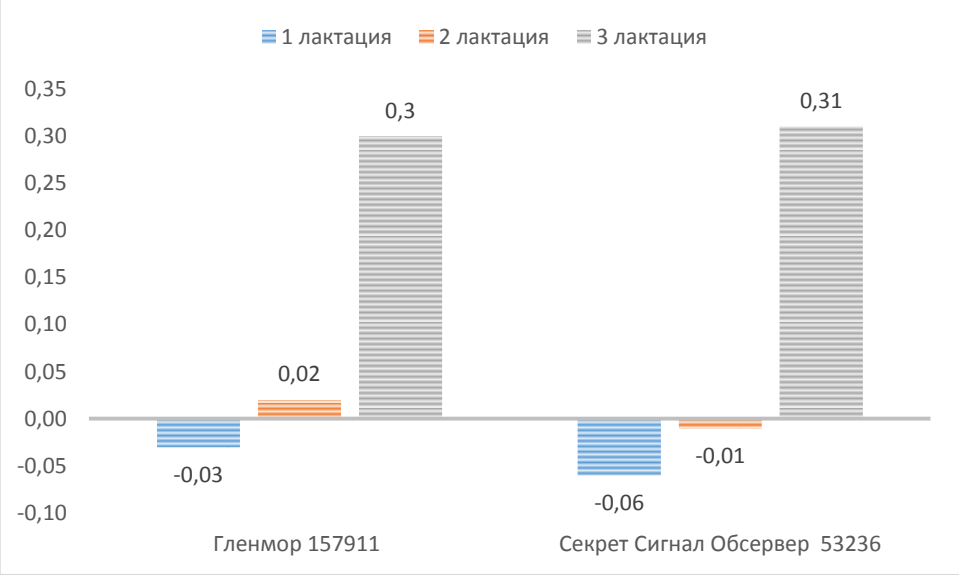


Рисунок 3 – Разница между содержанием белка в молоке дочерей и матерей по лактациям, процентные пункты
Figure 3 – Difference between the protein content in the milk of daughters and mothers by lactation, percentage points

Данные по взаимосвязи между показателями молочной продуктивности джерсейских коров разных генераций представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции по показателям молочной продуктивности джерсейских коров
Table 2 – Correlation coefficients for dairy productivity indicators of Jersey cows

Линия / Line	лактация / lactation	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient		
		между удоем и / between milk yield and		между массовой долей жира и массовой долей белка / between the mass fraction of fat and the mass fraction of protein
		массовой долей жира / mass fraction of fat	массовой долей белка / mass fraction of protein	
Гленмор 157911 / Glenmore 157911	дочери / daughters			
	1	-0,03±0,08	-0,02±0,08	+0,39±0,07***
	2	-0,32±0,08***	+0,17±0,08*	-0,13±0,08
	3	-0,05±0,08	+0,16±0,08*	-0,12±0,08
	матери / mothers			
	1	-0,28±0,08***	-0,27±0,08**	+0,51±0,06***
	2	-0,11±0,08	+0,28±0,08***	+0,30±0,08***
	3	-0,21±0,08**	-0,02±0,08	+0,22±0,08**
Секрет Сигнал Обсервер 53236 / Secret Signal Observer 53236	дочери / daughters			
	1	-0,23±0,09*	+0,16±0,09	+0,05±0,09
	2	-0,07±0,09	+0,01±0,09	-0,08±0,09
	3	-0,05±0,09	-0,04±0,09	-0,08±0,09
	матери / mothers			
	1	-0,27±0,08**	-0,19±0,09*	+0,47±0,07***
	2	+0,07±0,09	+0,25±0,08**	+0,47±0,07***
	3	-0,25±0,08**	+0,18±0,09*	+0,21 ±0,09*

Примечание: уровень статистической значимости *P > 0,95; **P > 0,99; ***P > 0,999.
Note: statistical significance level *P > 0.95; **P > 0.99; ***P > 0.999.

Результаты исследований показали, что характер и величина взаимосвязи между показателями молочной продуктивности коров разных генераций разнообразны. При этом выявлена общая закономерность, что между удоем и массовой долей жира в молоке у коров обоих генераций наблюдается отрицательная взаимосвязь, за исключением коров-матерей линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 по результатам 2-й лактации, где коэффициент корреляции имеет положительное значение +0,07, однако данный показатель свидетельствует об очень низкой взаимосвязи и не имеет статистической значимости. Статистически значимая отрицательна корреляция между удоем и содержанием жира была отмечена у коров-дочерей линии Гленмор 157911 по результатам 2-й лактации (r = -0,32), что свидетельствует об умеренном уровне взаимосвязи, и у их матерей по 1-й лактации (r = -0,28) и 3-й лактации (r = -0,21), что говорит о слабой степени связи между признаками. А у животных линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 статистически значимые значения коррелятивной связи были получены по 1-й лактации дочерей (r = -0,23) и по 1-й и 3-й лактации их матерей, у которых коэффициенты корреляции составили -0,27 и -0,25.

Статистически значимая слабая корреляция была обнаружена между удоем и содержанием белка в молоке коров-дочерей линии Гленмор 157911 за 2-ю и 3-ю лактации, где коэффициенты были на уровне +0,17 и +0,16 соответственно. У их матерей по результатам 1-й лактации была установлена слабой степени отрицательная взаимосвязь, что подтверждается коэффициентом корреляции, равным -0,27. Однако при анализе характера связи признаков за 2-ю лактацию, ситуация поменялась, корреляция оказалась положительной (r = +0,28) и статистически значимой.

У коров-дочерей линии Секрет Сигнал Обсервер 53236 между удоем и содержанием белка в молоке были обнаружены как положительные взаимосвязи, так и отрицательные, однако статистической значимости они не имели. У их матерей по 1-й лактации коэффициент корреляции между удоем и содержанием белка в молоке составил –0,19, что является статистически значимым и свидетельствует о слабой степени взаимосвязи данных признаков. По результатам следующих лактаций характер взаимосвязи изменился, она стала положительной, что подтверждается коэффициентами корреляции, равными +0,25 и +0,18 соответственно.

Между массовой долей жира и белка в молоке у коров-матерей выявлена положительная взаимосвязь, причем по первым двум лактациям она отмечается на уровне средней силы, а по 3-й слабой независимо от линейной принадлежности. А у коров-дочерей картина отличается. У животных линии Гленмор 157911 по 1-й лактации обнаружена средняя положительная взаимосвязь, что подтверждается статистически значимым коэффициентом корреляции, который равен +0,39. В последующие лактации характер связи меняет свое направление, однако полученные коэффициенты корреляции не имеют статистической значимости. У коров-дочерей другой линии между массовой долей жира и белка в молоке установлены очень слабые статистически не значимые взаимосвязи.

Заключение. Обнаруженная тенденция к снижению изменчивости признаков коров-дочерей по сравнению с их матерями говорит о проведении селекционных мероприятий по закреплению хозяйственно полезных признаков в анализируемом стаде. Что касаемо характера взаимосвязей между показателями молочной продуктивности, то у животных разных генераций корреляция отмечается на разных уровнях и направлениях. Это может быть обусловлено как наследственными факторами, так и различной вариабельностью признаков, а также длительностью селекционной работы, направленной на закрепление какого-либо из показателей. Основным селекционируемым признаком является удой, а качественные характеристики молока (массовая доля жира и белка) требуют дополнительных селекционных мероприятий, что является возможным в анализируемом стаде джерсейских коров.

Conclusion. The observed tendency towards a decrease in the variability of daughter cows' traits compared to their mothers indicates the implementation of breeding measures aimed at consolidating economically useful traits in the analyzed herd. Regarding the nature of the relationships between milk productivity indicators, animals of different generations exhibit correlations at different levels and directions. This can be attributed to both hereditary factors and the varying variability of traits, as well as the duration of breeding efforts aimed at consolidating specific indicators. The main selection criterion is milk yield, and the quality characteristics of milk (mass fraction of fat and protein) require additional selection measures, which is possible in the analyzed herd of Jersey cows.

Библиографический список

1. Бакай Ф. Р., Мухтаров А. М., Мехтиева К. С. Изменчивость показателей молочной продуктивности коров разных линий. Главный зоотехник. 2023. № 6 (239). С. 3-10.
2. Бакай Ф. Р., Мкртчян Г. В. Наследование и корреляционная связь между удоем и белковомолочностью у коров. The Scientific Heritage. 2021. № 65-3 (65). С. 7-9.
3. Бойко М. Д., Мкртчян Г. В. Оценка показателей молочной продуктивности у коров разных линий и генераций АО Племхоз «Наро-Осановский». Символ науки: международный научный журнал. 2023. № 9-2. С. 28-31.
4. Суханова С. Ф. и др. Влияние паратипических факторов на характер наследования продуктивных качеств голштинского скота. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 1 (53). С. 48-55.
5. Фурс Н. Л. и др. Влияние продуктивного потенциала женских предков на показатели молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы молочного скота отечественной селекции. Ученые записки учреждения образования Витебская ордена Знак почета государственная академия ветеринарной медицины. 2025. Т. 61. № 1. С. 74-78.
6. Горшков В. В., Щетинина Е. М. Линейная принадлежность коров как базовый фактор формирования качества молока-сырья. Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 3. С. 108-118.
7. Гилев В. А. и др. Изменчивость и взаимосвязь признаков молочной продуктивности коров разной линейной принадлежности. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2026. № 1 (84). С. 112-118.
8. Кибкало Л. И. Воспроизводительные функции и эффективность содержания коров голштинской и джерсейской пород. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 6. С. 98-101.
9. Ларина О. В., Алифанов С. В. Характеристика передающей способности быков-производителей джерсейской породы. Агроген Воронежского государственного аграрного университета. 2025. № 4 (12). С. 46-54.
10. Лоретц О. Г., Ражина Е. В., Смирнова Е. С. Продуктивные особенности коров голштинской породы разных генетических линий. Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 6. С. 779-791.
11. Мкртчян Г. В., Бакай Ф. Р. Корреляция между показателями количественных и качественных признаков молочной продуктивности у коров голштинской породы с разным уровнем белка в молоке. Вестник АПК Верхневолжья. 2023. № 1 (61). С. 90-96.
12. Абрамова Н. И. и др. Направление селекционного процесса в стаде коров айрширской породы в условиях Вологодской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 3. С. 448-458.
13. Санова З. С. Уровень молочной продуктивности джерсейских коров в зависимости от генеалогии. Аграрный вестник Урала. 2021. № 1 (204). С. 60-69.
14. Гилев В. А. и др. Связь между показателями молочной продуктивности у коров разных генотипов. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 4 (56). С. 27-33.
15. Суханова С. Ф., Алексеева Е. И. Выявление зависимостей и связей между различными показателями у крупного рогатого скота мясных пород. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 4 (56). С. 61-71.
16. Хромова Л. Г., Сычев А. И., Черных А. С. Молочная продуктивность, качество и безопасность молока коров, произведенного в условиях интенсивной технологии. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (65). С. 92-95.
17. Юхина Д. Э. Воспроизводительная способность джерсейских коров разных линий. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 4. С. 55-59.

References

1. Bakay F. R., Mukhtarov A. M., Mekhtieva K. S. Variability of indicators of dairy productivity of cows of different lines. Chief Animal Technician. 2023. No. 6 (239). Pp. 3-10.
2. Bakay F. R., Mkrtchyan G. V. Inheritance and correlation between milk yield and protein content in cows. The Scientific Heritage. 2021. No. 65-3 (65). Pp. 7-9.
3. Boiko M. D., Mkrtchyan G. V. Evaluation of Dairy Productivity Indicators in Cows of Different Lines and Generations at the Naro-Osanovsky Breeding Farm. Symbol of Science: International Scientific Journal. 2023. No. 9-2. Pp. 28-31.
4. Sukhanova S. F. et al. The influence of paratypical factors on the inheritance pattern of the productive qualities of Holstein cattle. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No. 1 (53). Pp. 48-55.
5. Furs N. L. et al. The influence of the productive potential of female ancestors on the indicators of milk productivity of first-calf cows of the Holstein breed of domestic dairy cattle. Scientific Notes of the Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2025. V. 61. No. 1. Pp. 74-78.
6. Gorshkov V. V., Shchetinina E. M. Line affiliation of cows as a basic factor in the formation of raw milk quality. Animal Husbandry and Feed Production. 2024. V. 107. No. 3. Pp. 108-118.
7. Gilev V. A. et al. Variability and interrelation of signs of dairy productivity of cows of different linear affiliation. Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2026. No. 1 (84). Pp. 112-118.
8. Kibkalo L. I. Reproductive functions and efficiency of keeping cows of the Holstein and Jersey breeds. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2023. No. 6. Pp. 98-101.
9. Larina O. V., Alifanov S. V. Characteristics of the transmitting ability of Jersey bulls. Agrogen of the Voronezh State Agrarian University. 2025. No. 4 (12). Pp. 46-54.
10. Lorets O. G., Razhina E. V., Smirnova E. S. Productive features of Holstein cows of different genetic lines. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. V. 24. No. 6. Pp. 779-791.
11. Mkrtchyan G. V., Bakai F. R. Correlation between quantitative and qualitative indicators of dairy productivity in Holstein cows with different levels of milk protein. Proceedings of the AIC Verkhnevolzhya. 2023. No. 1 (61). Pp. 90-96.
12. Abramova N. I. et al. The direction of the selection process in the herd of Ayrshire cows in the Vologda Region. Agrarian Science of the Euro-North-East. 2023. V. 24. No. 3. Pp. 448-458.
13. Sanova Z. S. The level of dairy productivity of Jersey cows depending on their pedigree. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 1 (204). Pp. 60-69.
14. Gilev V. A. et al. The relationship between indicators of dairy productivity in cows of different genotypes. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No. 4 (56). Pp. 27-33.

15. Sukhanova S. F., Alekseeva E. I. Identification of Dependencies and Relations between Various Indicators in Beef Cattle. Proceedings of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No. 4 (56). Pp. 61-71.
16. Khromova L. G., Sychev A. I., Chernykh A. S. Dairy Productivity, Quality, and Safety of Milk Produced under Intensive Technology. Proceedings of the Michurinsk State Agrarian University. 2021. No. 2 (65). Pp. 92-95.
17. Yukhina D. E. Reproductive capacity of Jersey cows of different lines. Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agro-technological University. 2024. V. 16. No. 4. Pp. 55-59.

Информация об авторах
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
Куленко Владлен Олегович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: kulenkovladlen@gmail.com
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
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
Карапетян Анжела Кероповна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru
Корнилова Елена Вячеславовна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, НИЦ «Черкизово» (Российская Федерация, 107143, г. Москва, Пермская ул., 5/1).
Каширина Лидия Григорьевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), Author ID:671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

Authors' Information
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
Kulenko Vladlen Olegovich, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: kulenkovladlen@gmail.com
Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru
Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru
Karapetyan Angela Keropovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru
Kornilova Elena Vyacheslavovna, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Cherkizovo Scientific Research Center (Russian Federation, 107143, Moscow, Permskaya Str., 5/1).
Kashirina Lidiya Grigorievna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), Author ID: 671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-45

THE DYNAMICS OF THE DAIRY COWS' NUMBER IN THE EUROPEAN NORTH OF THE RUSSIAN FEDERATION

Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O., Bogoradova L. N.

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences
Vologda, Russian Federation

Corresponding author E-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Received 26.01.2026 Submitted 30.03.2026

The work was carried out as part of the State Assignment No. FMGZ-2025-0016 "Development of a Program for the Development of Dairy Farming in the European North of the Russian Federation".

Summary
The article presents the dynamics of the number of dairy cows in the breed populations in the European North of the Russian Federation. The main herd consists of the Holstein breed, with 36,930 cows or 57,6 % of the total herd. The Vologda Region is the leader in the breeding of the Holstein breed, with 30,260 cows (68,4 %). In the European North of the Russian Federation, 70.9 % of cows are breeding animals, with 33.8 % of cows in breeding farms and 37.1 % in breeding reproducers.

Abstract
Introduction. The research was carried out within the framework of the state assignment for the conservation and management of the genetic resources of farm animals. The aim of the study was to determine the development of dairy breeds in terms of the number of cows from 2010 to 2023 in the European North of the Russian Federation. **The aim of the study** was to determine the development of dairy breeds in terms of the number of cows from 2010 to 2023 in the European North of the Russian Federation. To conduct the research, we used data from the Yearbook on Breeding in dairy cattle breeding by regions and republics of

the Russian Federation for 2011, 2016, 2021, 2023, and 2024. **The data base** was formed on the basis of general scientific methods (a systematic approach, a generalization method, etc.), statistical (grouping, sampling, comparison), graphical techniques. The European North of the Russian Federation includes 6 regions: the Republic of Karelia – 5,37 thousand heads. cows; Komi Republic – 3.23 thousand heads; Arkhangelsk – 9.72 thousand heads; Vologda – 44.27 thousand heads; Murmansk region – 1.54 thousand heads, in 2023. The database is based on general scientific methods (systematic approach, generalization method, etc.), statistical (grouping, sampling, comparison), graphical techniques. The European North of the Russian Federation includes 6 regions: the Republic of Karelia – 5,37 thousand heads. cows; Komi Republic – 3.23 thousand heads; Arkhangelsk region – 9.72 thousand heads; Vologda region – 44.27 thousand heads; Murmansk Region – 1.54 thousand heads, in 2023.

Keywords: *dairy farming development, dairy cattle breeds, cattle population statistics, cattle population dynamics, dairy cattle breeding.*

Citation. Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O., Bogoradova L. N. The dynamics of the dairy cows' number in the European North of the Russian Federation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 406-417 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-45.
Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the planning, implementation and analysis of this study. The authors of this article have read and approved the presented final version.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.2.034

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ КОРОВ МОЛОЧНЫХ ПОРОД НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Абрамова Н. И., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Хромова О. Л., *старший научный сотрудник*
Селимян М. О., *научный сотрудник*
Богорадова Л. Н., *лаборант-исследователь*

ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»
г. Вологда, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках Государственного задания № FMGZ-2025-0016 «Разработка программы развития молочного скотоводства в условиях Европейского Севера РФ».

Актуальность. Племенное молочное скотоводство является основной отраслью в сельскохозяйственном производстве, которая обеспечивает воспроизводство племенных и товарных стад ценным генетическим материалом, что позволяет сохранять продовольственную безопасность России. Ключевым фактором конкурентоспособности племенного поголовья молочных пород крупного рогатого скота в условиях импортозамещения является эффективное использование генетического племенного материала собственной селекции, что является актуальным в современных условиях развития молочного скотоводства. Поголовье молочных пород крупного рогатого скота (айрширской, голштинской, холмогорской, чёрно-пёстрой, ярославской) имеет различную численность и тенденцию развития по областям и республикам ЕС РФ с 2010 по 2024 год. По результатам ведомственной статистики установлено доминирование голштинской породы, поэтому необходимо определить направление развития каждой породной популяции для разработки региональных программ развития и оптимизации селекционно племенной работы. Данное исследование направлено на научное обоснование развития популяций молочных пород в условиях ЕС РФ. **Объект.** Объектом исследования являлось поголовье молочных коров в племенных хозяйствах (племзаводах и племрепродукторах) субъектов ЕС РФ: Вологодская область; Архангельская область; Мурманская область; Республика Карелия; Республика Коми. **Материалы и методы.** Исследование основано на данных официального статистического сборника «Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2010, 2015, 2020, 2022, 2023 год). Использовались данные по численности поголовья молочных пород крупного рогатого скота в целом, по племзаводам и племрепродукторам субъектов ЕС РФ. Методологическая основа включала сравнительный и статистический анализ для определения региональных различий и развития племенной инфраструктуры. **Результаты и выводы.** На ЕС РФ с 2010 по 2023 год установлена общая тенденция сокращения численности поголовья коров на 15,81 %. Основное сокращение выявлено по чёрно-пёстрой породе – 33,4 % и холмогорской – 10,88 %. При этом численность голштинской породы увеличилась на 36,93 %. Лидером по уровню развития племенной инфраструктуры является Вологодская область – численность коров составляет 44,27 тыс. голов, или 69,0 % в 2023 году, из них 44,7 сосредоточено в племзаводах и 37,1 % в племрепродукторах. Стратегическим направлением для развития отрасли и сокращения межрегиональной дифференциации является целенаправленное формирование сети племзаводов как центров генетического прогресса. Результаты исследований позволяют определить целевые регионы для инвестиций в селекционную инфраструктуру и могут быть использованы органами АПК для разработки адресных программ государственной поддержки.

Ключевые слова: *развитие молочного скотоводства, молочные породы КРС, статистика численности КРС, динамика численности КРС, селекция молочного скота.*

Цитирование. Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Селимян М. О., Богорадова Л. Н. Динамка численности коров молочных пород на Европейском Севере Российской Федерации. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 406-417. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-45.
Авторский вклад. Все авторы принимали участие в подготовке, проведении исследования и анализе его результатов. Представленный вариант статьи согласован со всеми авторами.
Конфликт интересов. Все авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В современных экономических условиях роль науки заключается в выявлении и выработке мер по устранению негативных тенденций в отрасли АПК, выработке стратегии развития агропромышленного комплекса, разработке конкурентоспособной научно-технической продукции в соответствии с потребностями агропромышленного производства, инновационной деятельности на основе научно-технических достижений[1].

Молочное скотоводство является одной из ведущих отраслей сельского хозяйства Российской Федерации, которое обеспечивает продовольственную безопасность страны. Важную роль в увеличении производства молока играет селекционно-племенная работа, которая базируется на целенаправленном использовании лучших генотипов с целью качественного совершенствования существующих пород для повышения продуктивных и племенных признаков животных [1].

В Российской Федерации наблюдается многообразие природно-климатических зон, и экономические возможности каждого из регионов страны привносят свои особенности в программы развития молочного скотоводства и систему племенного дела. Широко используемая в Российской Федерации голштинская порода крупного рогатого скота неодинаково проявляет свои адаптивные и продуктивные способности в разных климатических условиях. По мнению ведущих ученых, племенная ценность животных должна определяться исходя из региональных потребностей, на основе которых в дальнейшем может быть сформирована последовательная стратегия рационального использования племенных ресурсов [2, 3].

Учёные исследователи считают, что молочное животноводство является одной из ключевых отраслей мирового агропромышленного комплекса, которое вносит существенный вклад в обеспечение продовольственной безопасности и экономическое развитие сельских территорий [4].

Развитие молочного скотоводства во многом зависит от внимания к этой отрасли на местах. Эффективность ведения молочного скотоводства определяется уровнем продуктивности коров, поэтому одним из основных показателей рентабельности хозяйства, занимающегося молочным животноводством, является продуктивность дойного стада [5, 6, 7].

В настоящее время поголовье локальных пород сокращается в стране и местные породы стали менее пригодными в силу достаточно узкого ареала разведения, направления продуктивности и размера популяции. Неправильно ставить вопрос о вытеснении импортной генетики отечественной, поэтому необходимо убедиться в их экономической обоснованности [8, 9].

Селекционный процесс в современном молочном скотоводстве представляет собой сложный комплекс организационно-технологических мероприятий, основной целью которых является повышение темпов генетического совершенствования популяций животных с одной стороны, и увеличение рентабельности хозяйственной деятельности сельскохозяйственных организаций с другой [10, 11].

Для сохранения и улучшения породных популяций молочных пород крупного рогатого скота отечественными и зарубежными учеными разрабатывают новые методы прогнозирования генетической ценности в скотоводстве, они используются и совершенствуются в непрерывной эволюции, как генетиками-селекционерами, так и статистиками [12].

Правительством РФ в «Стратегии развития сельского хозяйства до 2030» одной из основных целей является повышение научно-технологического уровня АПК за счет развития селекции и генетики, работы по улучшению генетического потенциала в животноводстве [13].

[1] Приказ Минсельхоза РФ от 25 июня 2007 г. № 342 «О Концепции развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России до 2025 года»/ http://docs.cntd.ru/document/902099525

Следовательно, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью детального анализа дифференциации численности молочных пород крупного рогатого скота, что позволит определить направление развития племенной инфраструктуры в условиях ЕС РФ.

Целью исследования является изучение динамики численности коров молочных пород на Европейском Севере Российской Федерации.

Объект исследования. Поголовье коров молочных пород в племенных хозяйствах (племенных заводах и племрепродукторах) субъектов ЕС РФ (Вологодская область; Архангельская область; Мурманская область; Республика Карелия; Республика Коми).

Материалы исследования. Исследования по развитию молочных пород крупного рогатого скота в условиях Европейского Севера Российской Федерации проводилось на основе изучения фундаментальных трудов отечественных и зарубежных ученых. В ходе исследований использовались общенаучные методы (системный подход, метод обобщения и др.), статистический (группировки, выборки, сравнения), графический прием. Характеристика количественных (численность поголовья коров) показателей проводилась на основе статистических показателей Ежегодника по племенной работе в молочном скотоводстве по хозяйствам, областям, республикам Российской Федерации за 2011, 2016, 2021, 2023, 2024 годы [14].

Обработка научных данных проведена на основе использования стандартного программного обеспечения для персональных компьютеров.

Результаты исследований. Европейский Север Российской Федерации включает 6 регионов: Республику Карелия; Республику Коми; Архангельскую область; Вологодскую область; Мурманскую область; Ненецкий АО, который из-за отсутствия поголовья коров не включен в исследования (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика численности поголовья коров по регионам Европейского Севера Российской Федерации с 2010 по 2023 год с учетом породной принадлежности
Table 1 – Dynamics of the number of cows in the regions of the European North of the Russian Federation from 2010 to 2023, taking into account breed affiliation

Регионы / Regions	Породы / Breeds	Поголовье, всего коров тыс. голов (год) / Livestock, total cows,thsd heads (year)					± 2023 к 2010	± 2023 к 2022
		2010	2015	2020	2022	2023		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Республика Карелия / Karelia Republic	Айрширская / Ayrshire	6,00	6,57	4,66	4,83	4,86	-1,14	+0,03
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	0,41	+0,41	+0,41
	Холмогорская / Kholmogorskaya	0,43	0,40	0,43	0,47	0,10	-0,33	-0,37
	Всего / Total	**6,43**	**6,97**	**5,08**	**5,29**	**5,37**	**-1,06**	**+0,08**
Республика Коми / Komi Republic	Айрширская / Ayrshire	3,49	1,14	0,82	0,98	0,97	-2,52	-0,01
	Холмогорская / Kholmogorskaya	1,13	2,84	2,77	2,17	2,27	+1,14	+0,1
	Всего / Total	**4,62**	**3,97**	**3,60**	**3,14**	**3,23**	**-1,39**	**+0,09**
Архангельская область / Arkhangelsk region	Холмогорская / Kholmogorskaya	10,74	9,77	9,97	4,31	3,77	-6,97	-0,54
	Голштинская / Holstein	-	-	0,35	5,36	5,95	+5,95	+0,59
	Всего / Total	**10,74**	**9,77**	**10,32**	**9,68**	**9,72**	**-1,02**	**+0,04**
Вологодская область / Vologda region	Айрширская / Ayrshire	5,23	4,76	3,01	3,56	3,38	-1,85	-0,18
	Холмогорская / Kholmogorskaya	6,87	5,94	5,63	3,61	3,03	-3,84	-0,58
	Черно-пестрая / Black-and-White	39,22	33,95	31,91	16,66	5,82	-33,4	-10,8
	Ярославская / Yaroslavskaya	4,63	3,01	2,49	1,84	1,78	-2,85	-0,06
	Голштинская / Holstein	-	1,39	1,51	20,95	30,26	+30,26	+9,31
	Всего / Total	**55,95**	**49,10**	**44,55**	**46,63**	**44,27**	**-11,68**	**-2,36**

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мурманская область / Murmansk region	Айрширская / Ayrshire	0,12	0,15	0,17	0,20	0,02	-0,1	-0,18
	Голштинская / Holstein	-	0,48	0,38	0,33	0,31	+0,31	-0,02
	Холмогорская / Kholmogorskaya	2,09	1,62	1,38	1,41	1,21	-0,88	-0,2
	Всего / Total	**2,22**	**2,25**	**1,92**	**1,94**	**1,54**	**-0,68**	**-0,4**
Ненецкий АО / Nenets Autonomous District	Холмогорская / Kholmogorskaya	-	0,58	-	-	-	-	-
	Всего / Total	**-**	**0,58**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Европейский Север Российской Федерации / The European North of the Russian Federation	Айрширская / Ayrshire	14,84	12,62	8,66	9,57	9,23	-5,61	-0,34
	Голштинская / Holstein	-	1,87	2,24	26,64	36,93	+36,93	+10,29
	Холмогорская / Kholmogorskaya	21,26	21,15	20,18	11,97	10,38	-10,88	-1,59
	Черно-пестрая / Black-and-White	39,22	33,95	31,91	16,66	5,82	-33,4	-10,84
	Ярославская / Yaroslavskaya	4,63	3,01	2,49	1,84	1,78	-2,85	-0,06
	Всего / Total	**79,95**	**72,65**	**65,48**	**66,68**	**64,14**	**-15,81**	**-2,54**

Численность коров по Европейскому Северу РФ на 01.01.2024 года составила 64,14 тыс. голов и наибольшее поголовье сосредоточено в Вологодской области 44,27 тыс. голов или 69,0 %. Остальное поголовье коров разводят в Архангельской области 9,7 тыс. голов (15,2 %), Республика Карелия 5,37 тыс. голов (8,3 %), Республика Коми 3,23 тыс. голов (5,0 %) и Мурманской области 1,54 тыс. голов (2,4 %).

По результатам проведенных исследований за периоды с 2010 по 2023 год и с 2022 по 2023 год по Европейскому Северу РФ установлено сокращение численности коров на 15,81 тыс. голов и 2,54 тыс. голов соответственно.

Наибольшее снижение численности поголовья коров с 2010 по 2023 год выявлено в Вологодской области: 11,68 тыс. голов и с 2022 по 2023 год – 2,36 тыс. голов. По другим регионам Европейского Севера РФ сокращение численности коров с 2010 по 2023 год составило от 0,68 тыс. голов (Мурманская область) до 1,39 тыс. голов (Республика Коми).

Выявлена наибольшая интенсивность сокращения поголовья коров за период с 2010 по 2023 год по Мурманской области (-30,6 %), Республике Коми (-30,1 %), Вологодской области (-20,9 %) и Республике Карелия (-16,5 %) (таблица 2). Наименьшее сокращение отмечено по Архангельской области (-9,5 %).

Таблица 2 – Динамика сокращения численности коров и их процентное соотношение по регионам Европейского Севера Российской Федерации
Table 2 – Dynamics of reduction in the number of cows and their percentage by regions of the European North of the Russian Federation

Регион / Region	Коров тыс. голов / total cows, thousand heads		% поголовья коров / % of the number of cows	
	±2023 к 2010	± 2023 к 2022	±2023 к 2010	± 2023 к 2022
Вологодская область / Vologda region	-11,68	-2,36	-20,9	-5,3
Республика Коми / Komi Republic	-1,39	0,09	-30,1	2,8
Республика Карелия / Republic of Karelia	-1,06	0,08	-16,5	1,5
Архангельская область / Arkhangelsk region	-1,02	0,04	-9,5	0,4
Мурманская область / Murmansk region	-0,68	-0,4	-30,6	-26,0
Европейский Север Российской Федерации / The European North of the Russian Federation	-15,81	-2,54	-19,8	-4,0

За период с 2022 по 2023 год интенсивность сокращения самая высокая в Мурманской области (-26,0 %). В Вологодской области процент сокращения составил 5,3 %, а увеличение поголовья коров установлено по Архангельской области (+0,4 %), Республике Карелия (+1,5 %) и Республике Коми (+2,8 %).

Необходимо уточнить, что в 2023 году по регионам с минимальным поголовьем коров: 1540 голов (Мурманская область) и 3230 голов (Республика Коми) сокращение относительно 2010 года составило 680 и 1390 коров соответственно, а в процентном соотношении этот показатель имеет самое высокое значение: 30,6 % и 30,1 %. По самой многочисленной популяции на Европейском Севере РФ Вологодской области – с 2010 по 2023 год сокращение составило 11,68 тыс. голов коров или 20,9 %. Данную ситуацию следует учитывать при характеристике численности поголовья коров и процентном соотношении.

За анализируемый период выявлены значительные изменения по численности коров с учетом породной принадлежности в связи инвентаризацией племенного поголовья крупного рогатого скота молочного направления продуктивности, которые подготовлены рабочей группой Минсельхоза России в целях реализации Решения Коллегии Евразийской Экономической Комиссии от 08.09.2020 г. № 108. Данная ситуация является следствием массового использования быков-производителей голштинской породы на отечественных породных популяциях молочного скота.

На Европейском Севере РФ Вологодская область обладает самой многочисленной популяцией молочного скота (44,27 тыс. голов), где сосредоточено 5 пород: айрширская – 3,38 тыс. голов; холмогорская – 3,03 тыс. голов; чёрно-пёстрая – 5,82 тыс. голов; ярославская – 1,78 тыс. голов; голштинская 30,26 тыс. голов (таблица 1).

В результате породной инвентаризации с 2010 по 2023 год популяция черно-пестрой породы сократилась на 33,4 тыс. голов с 39,22 тыс. голов до 5,82 тыс. голов, при этом популяция голштинской породы увеличилась на 36,93 тыс. голов.

Одновременно отмечается сокращение популяции холмогорского скота на 3,84 тыс. голов (до 3,03 тыс. голов в 2023 году) и ярославского скота на 2,85 тыс. голов (до 1,78 тыс. голов). Наименьшее сокращение численности коров установлено по айрширской породе: на 1,85 тыс. голов (с 5,23 до 3,38 тыс. голов) за период с 2010 по 2023 год. Это является следствием того, что айрширская порода значительно отличается по происхождению, генеалогической принадлежности, масти, жирномолочности, экстерьерными признакам от остальных пород.

С 2022 по 2023 год процесс породной инвентаризации продолжался: по черно-пестрой породе – сокращение составило 10,8 тыс. голов, а по голштинской – увеличение на 10,29 тыс. голов.

Вторая по численности популяция молочного скота Архангельской области составляет 9,72 тыс. голов в 2023 году. За период с 2010 по 2023 год выявлены значительные изменения по породной принадлежности коров, численность холмогорской породы сократилась на 6,97 тыс. голов – с 10,74 до 3,77 тыс. голов, при этом с 2020 года увеличилось поголовье коров голштинской породы с 0,35 тыс. до 5,95 тыс. голов. Следует отметить, что с 2022 по 2023 год тенденция сокращения коров холмогорской породы продолжается (-0,54 тыс. голов), а голштинских коров увеличилась на 0,59 тыс. голов.

На Европейском Севере РФ наиболее стабильной по численности коров является Республика Карелия: 5,37 тыс. голов в 2023 году, сокращение составило 1,06 тыс. голов с 2010 года, а увеличение с 2022 года – 0,08 тыс. голов. Данная ситуация является следствием того, что в Республике Карелия основной породой является айрширская, поголовье которой с 2010 по 2023 год сократилось на 1,14 тыс. голов, а с 2022 по 2023 увеличилось на 0,03 тыс. голов. При этом численность холмогорской породы сократилась на 0,33 тыс. голов и составила в 2023 году 0,10 тыс. голов, а голштинской – увеличилась на 0,41 тыс. голов. Это свидетельствует о том, что в соответствии с новыми рекомендациями по породной принадлежности холмогорская порода была переведена в голштинскую.

В республике Коми отмечается положительная тенденция увеличения поголовья коров холмогорской породы с 1,13 тыс. голов (2010 г.) до 2,27 тыс. голов в 2023 году (+1,14 тыс. голов). По айрширской породе выявлено сокращение поголовья коров на 2,52 тыс. голов (с 3,49 до 0,97 тыс. голов).

Самое малочисленное поголовье коров установлено в Мурманской области: 1,54 тыс. голов в 2023 году. Сокращение с 2010 года составило 0,68 тыс. голов, в том числе за счет холмогорской породы – на 0,88 тыс. голов. С 2015 года в области разводят голштинскую породу, численность которой в 2023 году составила 0,310 тыс. голов. Необходимо отметить, что в области разводят минимальное количество коров айрширской породы – 0,02 тыс. голов в 2023 году.

Племзаводы Европейского Севера Российской Федерации.

Основой совершенствования молочных пород крупного рогатого скота является племенная работа с животными. В таблице 3 представлена динамика развития племенного животноводства (племзаводы) по регионам Европейского Севера РФ с 2010 по 2023 год и с 2022 по 2023 год. Численность поголовья коров на Европейском Севере РФ с 2010 по 2023 год осталась на одном уровне 21359 коров (21655) соответственно.

Таблица 3 – Динамика развития племенных заводов на Европейском Севере РФ по численности поголовья коров в племзаводах с 2010 по 2023 год
Table 3 – Dynamics of development of breeding plants in the European North of the Russian Federation by the number of cows in breeding plants from 2010 to 2023

Регионы / Regions	Породы / Breeds	Племенные заводы (поголовье), всего коров, голов / Breeding farms (headcount), total number of cows, head.										± 2023 к 2010	± 2023 к 2022
		2010	% к общему поголовью / % of total livestock	2015	% к общему поголовью / % of total livestock	2020	% к общему поголовью / % of total livestock	2022	% к общему поголовью / % of total livestock	2023	% к общему поголовью / % of total livestock		
Республика Карелия / Republic of Karelia	Айрширская / Ayrshire	1782	29,7	1893	28,8	2388	51,3	3012	62,4	3020	62,2	+1238	+8
	Всего / Total	**1782**	**27,7**	**1893**	**27,2**	**2388**	**47,0**	**3012**	**56,9**	**3020**	**56,3**	+1238	+8
Республика Коми / Komi Republic	Холмогорская / Kholmogorskaya	1465	41,9	1557	54,9	320	11,5	671	31,0	633	27,9	-832	-38
	Всего / Total	**1465**	**31,7**	**1557**	**39,2**	**320**	**8,9**	**671**	**21,3**	**633**	**19,6**	-832	-38
Архангельская область / Arkhangelsk region	Холмогорская / Kholmogorskaya	1546	14,4	2395	24,5	2148	21,5	421	9,8	-	-	-1546	-421
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	-	-	1151	21,5	1192	20	+1192	+41
	Всего / Total	**1546**	**14,4**	**2395**	**24,5**	**2148**	**20,8**	**1572**	**16,2**	**1192**	**12,3**	-354	-380
Вологодская область / Vologda region	Айрширская / Ayrshire	1519	29,0	1749	36,8	1656	55,0	1704	47,8	1578	46,6	+59	-126
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	-	-	11916	56,9	14124	56,6	+14124	+2208
	Черно-пестрая / Black-and-White	11746	29,9	15177	44,7	17396	54,5	6962	41,8	1108	19,0	-10638	-5854
	Всего / Total	**13265**	**23,6**	**16926**	**34,5**	**19052**	**42,8**	**20582**	**44,1**	**19810**	**44,7**	+6545	-772
Европейский Север РФ / The European North of the Russian Federation	Айрширская / Ayrshire	3301	15,5	3642	16,0	4044	16,9	4716	18,3	4598	21,2	+1297	-118
	Холмогорская / Kholmogorskaya	6312	29,6	3952	17,4	2468	10,3	1092	4,2	633	2,9	-5679	-459
	Черно-пестрая / Black-and-White	11746	55,0	15177	66,7	17396	72,8	6962	26,9	1108	5,1	-10638	-5854
	Голштинская / Holstein	0	0	0	0	0	0	13067	50,6	15316	70,7	+15316	+2249
	Всего / Total	**21359**	**100**	**22771**	**100**	**23908**	**100**	**25837**	**100**	**21655**	**100**	**296**	**-4182**

В самой многочисленной популяции молочного скота Вологодской области за анализируемый период произошли существенные изменения принадлежности хозяйств к племенным заводам. По Вологодской области с 2010 года относительная численность племенных животных увеличилась с 23,6 % до 44,1 %. Основные изменения произошли с 2022 года при проведении породной инвентаризации, когда племенных коров чёрно-пёстрой породы перевели в голштинскую; в 2023 году их численность составила 14 124 головы, а численность чёрно-пёстрой сократилась на 10 638 голов (до 1108 коров в 2023 году). С 2022 по 2023 год данная тенденция сохраняется: увеличение поголовья коров голштинской породы составило 2208 голов, а чёрно-пёстрой сократилось на 5854 головы. По айрширской породе отмечается увеличение относительной численности коров в племзаводах с 29,0 % (2021 год) до 55,0 % (2022 год), однако к 2023 году установлено некоторое снижение до 46,6 %.

В Архангельской области с 2010 по 2015 год отмечалось увеличение относительной численности коров холмогорской породы в племенных заводах с 14,4 % до 24,5 %, а затем сокращение до 9,8 % (2022 год). Это стало следствием инвентаризации породной принадлежности и перевода холмогорской породы в голштинскую (21,5 % в 2022 году и 20,0 % в 2023 году). Однако в 2023 году в Архангельской области холмогорская порода полностью отсутствует.

Наибольшие темпы развития племенного животноводства выявлены в Республике Карелия, относительная численность коров айрширской породы в племенных заводах с 2010 года увеличилась с 27,9 % до 62,4 % (+1238 коров) в 2023 году.

В республике Коми установлено сокращение коров холмогорской породы в племзаводах с 41,9 % (2010 год) до 27,9 % (-832 головы) (2023 год).

Следовательно, необходимо отметить развитие айрширской породы в племзаводах Республики Карелия и голштинской породы в Вологодской и Архангельской области.

Племрепродукторы Европейского Севера Российской Федерации.

Племрепродукторы являются одним из элементов селекционно-племенной работы по совершенствованию молочных пород крупного рогатого скота.

На Европейском Севере РФ в трех областях: Вологодской; Мурманской, Архангельской и двух Республиках: Карелия и Коми в 2023 году в племенных репродукторах числится 23 824 коров (таблица 4). С 2010 по 2023 год выявлено сокращение численности коров на 757 голов, а с 2022 по 2023 год увеличение на 949 коров.

Таблица 4 – Динамика развития племенных репродукторов на Европейском Севере РФ с 2010 по 2023 год
Table 4 – Dynamics of development of breeding reproductors in the European North of the Russian Federation from 2010 to 2023

Регионы / Regions	Породы / Breeds	Племенные репродукторы (поголовье) / Breeding reproducers (headcount)										± 2023 к 2010	± 2023 к 2022
		2010	% к общему поголовью / % of total livestock	2015	% к общему поголовью / % of total livestock	2020	% к общему поголовью / % of total livestock	2022	% к общему поголовью / % of total livestock	2023	% к общему поголовью / % of total livestock		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Республика Карелия / Republic of Karelia	Айрширская / Ayrshire	1263	21,0	1681	25,6	1144	24,6	374	7,7	359	7,4	-904	-15
	Холмогорская / Kholmogorskaya	406	95,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-406	-
	Всего / Total	**1669**	**26,0**	**1681**	**24,1**	**1144**	**22,5**	**374**	**7,1**	**359**	**6,7**	-1310	-15

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Республика Коми / Komi Republic	Айрширская / Ayrshire	695	61,5	282	24,8	468	56,8	457	46,7	484	50,2	-211	+27
	Холмогорская / Kholmogorskaya	151	4,3	49	1,7	924	33,3	629	29,1	624	27,5	+473	-5
	Всего / Total	**846**	**18,3**	**331**	**8,3**	**1392**	**38,7**	**1086**	**34,5**	**1108**	**34,3**	+262	+22
Архангельская область / Arkhangelsk region	Холмогорская / Kholmogorskaya	3770	35,1	3971	40,7	5616	56,3	1508	35,0	1197	31,8	-2573	-311
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	350	100	4210	78,5	4737	79,6	+4737	+527
	Всего / Total	**3770**	**35,1**	**3971**	**40,7**	**5966**	**57,8**	**5718**	**59,1**	**5934**	**61,1**	+2164	+216
Вологодская область / Vologda region	Айрширская / Ayrshire	688	13,1	168	3,5	-	-	-	-	-	-	-688	-
	Голштинская / Holstein	-	-	-	-	1495	99,1	-	-	12988	42,9	12988	+12988
	Холмогорская / Kholmogorskaya	1389	20,2	2174	36,6	2091	37,1	8937	42,7	321	10,6	-1068	-8616
	Черно-пестрая / Black-and-White	12505	31,9	10983	32,3	10840	34,0	5018	30,1	1881	32,3	-10624	-3137
	Ярославская / Yaroslavskaya	1738	37,6	-	-	1271	51,1	1210	65,7	1233	69,3	-505	+23
	Всего / Total	**16320**	**29,0**	**14678**	**29,9**	**15697**	**35,2**	**15697**	**33,7**	**16423**	**37,1**	+103	+726
Мурманская область / Murmansk region	Айрширская / Ayrshire	110	88,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-110	-
	Голштинская / Holstein	-	-	414	86,6	-	-	-	-	-	-	-414	-
	Холмогорская / Kholmogorskaya	1866	89,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-1866	-
	Всего / Total	**1976**	**89,1**	**414**	**18,4**	-	-	-	-	-	-	-1976	-
Европейский Север РФ / The European North of the Russian Federation	Айрширская / Ayrshire	2756	11,2	2131	10,7	1612	6,6	831	3,6	843	3,5	-1913	+12
	Голштинская / Holstein	-	-	414	2,1	1845	7,6	4210	18,4	17725	74,4	+17725	+13515
	Холмогорская / Kholmogorskaya	7582	30,8	6465	32,3	8628	35,5	11074	48,4	2142	9,0	-5440	-8932
	Черно-пестрая / Black-and-White	12505	50,9	10983	54,9	10840	44,6	5018	21,9	1881	7,9	-10624	-3137
	Ярославская / Yaroslavskaya	1738	7,1	-	-	1271	5,2	1210	5,3	1233	5,2	-505	+23
	Всего / Total	**24581**	**100**	**21075**	**100**	**24293,5**	**100**	**22875**	**100**	**23824**	**100**	**-757**	**949**

В племрепродукторах Европейского Севера РФ разводят пять пород: айрширскую; голштинскую; холмогорскую; чёрно-пёструю; ярославскую. В 2023 году основной породой на Европейском Севере является голштинская 17 725 коров или 71,9 %, что является

следствием инвентаризации породной принадлежности. А такие породы, как чёрно-пёстрая, холмогорская и ярославская на которых активно использовали быков-производителей голштинской породы, значительно сократили численность поголовья.

Основное сокращение поголовья по чёрно-пёстрой породе с 2010 по 2023 год составило 10 624 головы, а с 2022 по 2023 год – 3 137 голов, что составило в 2023 году 1 881 голову.

По холмогорской породе поголовье коров с 2010 по 2023 год сократилось на 5 440 голов, а с 2022 по 2023 год – 8 932 головы, что составило 2 142 коровы в 2023 году.

По ярославской породе численность сократилась на 505 коров с 2010 по 2023 год, а с 2022 по 2023 год увеличилась на 23 коровы, что составило 1 233 головы.

Самое большое поголовье коров в племрепродукторах Европейского Севера РФ находиться в Вологодской области 16 423 голов и с 2010 по 2023 год увеличилось на 103 головы, а с 2022 по 2023 год на 726 коров. Это свидетельствует о том, что Вологодская область за данный период сохранила племенное поголовье коров, и за последний год увеличила темпы роста племенных животных.

В племрепродукторах Вологодской области разводят пять пород: айрширскую; голштинскую; холмогорскую; чёрно-пёструю; ярославскую. Основное поголовье в 2010 году составляла черно-пестрая порода 12 505 коров или 76,6 %, а в 2023 году сократилась до 1 881 коров (11,5 %). Что является следствием массового использования быков-производителей голштинской породы и проведения породной инвентаризации. Поэтому в 2023 году чёрно-пёстрая порода была переведена в голштинскую, и её поголовье составило 12 988 коров (79,1 %).

Аналогичная ситуация установлена по племрепродукторам холмогорской породы: поголовье коров с 2010 года увеличилось с 1 389 голов до 8 937 голов (+7 548 голов) в 2022 году, а в 2023 году осталась 321 корова чистопородной холмогорской породы.

По ярославской породе с 2010 по 2023 год поголовье сократилось на 505 коров и составило 1 233 головы.

По айрширской породе с 2015 года отсутствуют племрепродукторы в Вологодской области.

Архангельская область полностью отражает ситуацию породной инвентаризации в России. Поголовье холмогорской породы с 2010 по 2023 год сократилось на 2 573 коровы, с 2022 по 2023 год на 311 коров и составило 1 197 голов. При этом поголовье голштинской породы увеличилось на 4 737 коров с 2010 по 2023 год и 527 коров с 2022 по 2023 год.

В Республике Карелия племрепродукторы по холмогорской породе с 2015 года отсутствуют. Основная порода айрширская и с 2010 по 2023 год сократилась на 904 коровы и на 15 голов с 2022 по 2023 год.

В Республике Коми установлено сокращение поголовья коров айрширской породы на 211 голов с 2010 по 2023 год и увеличение на 27 голов с 2022 по 2023 год. По холмогорской породе отмечается увеличение поголовья коров в племрепродукторах на 473 головы с 2010 по 2023 год, что составило 624 коровы.

В Мурманской области отсутствуют племенные репродукторы по разведению айрширской и холмогорской породы с 2015 года, и голштинской с 2020 года.

Выводы. На Европейском Севере РФ в настоящее время в результате породной инвентаризации основное поголовье составляет голштинская порода: 36,93 тыс. коров или 57,6 % от всего поголовья. Лидером по разведению голштинской породы является Вологодская область – 30,26 тыс. коров 81,9 %. В Архангельской области – 5,95 тыс. голов 16,1 %.

К племенным заводам относится 21 655 коров или 33,8 % от всего поголовья и 23 824 коровы к племенным репродукторам (37,1 %). В результате 70,9 % коров на Европейском Севере РФ относятся к племенным животным. Результатами исследований установлено, что всё основное и племенное поголовье коров сосредоточено в Вологодской области на Европейском Севере РФ.

Стратегическим направлением для развития молочного скотоводства ЕС РФ является целенаправленное формирование и поддержка сети племенных хозяйств как центров получения ценного генетического материала и технологического прогресса. Полученные результаты могут быть использованы органами АПК для формирования адресных программ господдержки, инвестиций в селекционную инфраструктуру и передачи передовых технологий.

Conclusions. In the European North of the Russian Federation, as a result of the breed inventory, the main livestock is the Holstein breed, 36.93 thousand cows or 57.6 % of the total livestock. The leader in the breeding of the Holstein breed is the Vologda region – 30.26 thousand cows (81.9 %). In the Arkhangelsk region – 5.95 thousand heads (16.1 %).

Breeding plants include 21,655 cows or 33.8 % of the total livestock and 23,824 cows for breeding reproducers (37.1 %). As a result, 70.9 % of cows in the European North of the Russian Federation belong to breeding animals. The results of the research revealed that the entire main cow population and breeding stock is concentrated in the Vologda region in the European North of the Russian Federation.

A strategic direction for the development of dairy cattle breeding in the EU-Russia Federation is the purposeful formation and support of a network of breeding farms as centers for obtaining valuable genetic material and technological progress. The results obtained can be used by the agricultural authorities to form targeted programs of state support, investments in breeding infrastructure, and transfer of advanced technologies.

Библиографический список

1. Лоретц О. Г., Донник И. М., Климова Н. А. Оценка быков-производителей зарубежной и отечественной селекции, используемых в племенных хозяйствах Свердловской области. Аграрный вестник Урала. 2012. № 4. С. 14-17.
2. Сермягин А. А., Ермилов А. Н., Янчуков И. Н. и др. Региональная система геномной оценки как базовый элемент национальной программы генетического совершенствования крупного рогатого скота. Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 7. С. 1-7.
3. Калашников А. Е., Голубков А. И., Щегольков Н. Ф. и др. Проблемы и вопросы при прогнозировании генетической племенной ценности сельскохозяйственных животных. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 4. С. 77-96.
4. 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.
5. Tuzov I. N., Ryadchikov V. G., Ratoshniy A. N. et al. Using Holstein cattle in conditions of the Krasnodar territory. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. № 10 (12). Pp. 3160-3163.
6. Foksha V., Konstandoglo A. Dairy productivity of Holstein cows and realization of their genetic potential. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25. Pp. 31-36.
7. Пономарева Е. А., Татаркина Н. И. Молочная продуктивность коров голштинской породы различного происхождения. Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 1. С. 43-45.
8. Хромова О. Л., Абрамова Н. И., Зенкова Н. В. Характеристика современного состояния отрасли молочного скотоводства Северо-Западного Федерального округа и Вологодской области. Молочнохозяйственный вестник. 2021. № 3 (43). С. 99-113.
9. Абрамова Н. И., Зенкова Н. В., Селимян М. О. Перспективы развития молочного скотоводства в Вологодской области. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023. № 2. С. 133-141.
10. Misztal I., Stein Y., Lourenco D. A. L. Genomic evaluation with multibreed and crossbred data. JDS Communications. 2022. No 3 (4) Pp. 1-10.
11. Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Селимян М. О. и др. Современное состояние молочного скотоводства в мире, России и Вологодской области. АгроЗооТехника. 2024. Т. 7. № 2.
12. Абрамова М. В., Ильина А. В., Зырянова С. В. и др. Мониторинг селекционно-генетических процессов в популяции ярославской породы по Ярославской области. Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 102-106.
13. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 12.04.2020 г. № 993-р. http://docs.cntd.ru/document/564654448
14. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации Москва: ФГБНУ ВНИИплем (за 2011, 2016, 2021, 2023, 2025 год).

References

1. Lorets O. G., Donnik I. M., Klimova N. A. Evaluation of foreign and domestic breeding bulls used in breeding farms in the Sverdlovsk Region. Agrarian Bulletin of the Urals. 2012. No. 4. Pp. 14-17.
2. Sermyagin A. A., Yermilov A. N., Yanchukov I. N. et al. Regional system of genomic evaluation as a basic element of the national program for genetic improvement of cattle. Dairy and Meat Cattle Farming. 2017. No. 7. Pp. 1-7.
3. Kalashnikov A. E., Golubkov A. I., Shchegolkova N. F. et al. Problems and Issues in Predicting the Genetic Breeding Value of Farm Animals. Proceedings of the NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2022. No 4. Pp. 77-96.
4. Anisimova E. Yu., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Mosolova E. A., Shakhbazova O. P., Radzhabov R. G. Realization of Genetic Potential and Features of the Breed Composition of the Dairy Herd in the Southern Federal District. Proceedings of the NVAUC. 2025. No 6 (84). Pp. 365-380.
5. Tuzov I. N., Ryadchikov V. G., Ratoshniy A. N. et al Using Holstein cattle in conditions of the Krasnodar territory. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. № 10 (12). Pp. 3160-3163.
6. Foksha V., Konstandoglo A. Dairy productivity of Holstein cows and realization of their genetic potential. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25. Pp. 31-36.
7. Ponomareva E. A., Tatarkina N. I. Dairy Productivity of Holstein Cows of Different Origins. Proceedings of the Kurgan SAA. 2019. No. 1. Pp. 43-45.
8. Khromova O. L., Abramova N. I., Zenkova N. V. Characteristics of the Current State of the Dairy Farming Industry in the North-Western Federal District and the Vologda Region. Dairy Bulletin. 2021. No. 3 (43). Pp. 99-113.
9. Abramova N. I., Zenkova N. V., and Selimyan M. O. Prospects for the Development of Dairy Farming in the Vologda Region. Proceedings of the NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2023. No. 2. Pp. 133-141.
10. Misztal I., Stein Y., Lourenco D. A. L. Genomic evaluation with multibreed and crossbred data. JDS Communications. 2022. No 3 (4) Pp. 1-10.
11. Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O. et al. The current state of dairy farming in the world, Russia, and the Vologda Region. AgroZoo-Technique. 2024. V. 7. No. 2.

12. Abramova M. V., Ilyina A. V., Zyryanova S. V., et al. Monitoring of breeding and genetic processes in the Yaroslavl breed population in the Yaroslavl Region. Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex. 2022. Vol. 36. No. 4. Pp. 102-106.

13. Strategy for the Development of the Agro-Industrial and Fisheries Complexes of the Russian Federation for the Period up to 2030: Order of the Government of the Russian Federation No. 993-r dated 12 April 2020. http://docs.cntd.ru/document/564654448

14. Annual Report on Breeding Work in Dairy Farming in the Russian Federation (2011, 2016, 2021, 2023, 2025).

Информация об авторах

Абрамова Наталья Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства им. А. С. Емельянова – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН» (Российская Федерация, 160555, Вологодская область, Вологодский район, село Молочное, ул. Ленина, 14), http:// orcid.org/0000-0002-5315-7656, e-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Хромова Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства им. А. С. Емельянова - обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН» (Российская Федерация, 160555, Вологодская область, Вологодский район, село Молочное, ул. Ленина, 14), http:// orcid.org/0000-0002-8101-6316, e-mail: khromova_olenka@mail.ru

Селимян Максим Олегович, научный сотрудник, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства им. А. С. Емельянова – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН» (Российская Федерация, 160555, Вологодская область, Вологодский район, село Молочное, ул. Ленина, 14), http:// orcid.org/0000-0002-6681-7879, e-mail: sss090909@mail.ru

Богорадова Людмила Николаевна, лаборант-исследователь, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства им. А. С. Емельянова - обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН» (Российская Федерация, 160555, Вологодская область, Вологодский район, село Молочное, ул. Ленина, 14), http:// orcid.org/0000-0003-1936-2821, e-mail: liudmila.bogoradova@yndex.ru

Authors' Information

Abramova Natalia Ivanovna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, North-West Research Institute of Dairy and Meadow Pasture Farming named after A. S. Emelyanov - the separate subdivision of the Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda Region, Vologda District, Molochnoye Village, Lenin Str., 14), http:// orcid.org/0000-0002-5315-7656, e-mail: natali.abramova.53@mail.ru;

Khromova Olga Leonidovna, Senior Researcher, Senior Researcher, North-West Research Institute of Dairy and Meadow Pasture Farming named after A. S. Emelyanov – the separate subdivision of the Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda Region, Vologda District, Molochnoye Village, Lenin Str., 14), http:// orcid.org/0000-0002-6030-655X, e-mail: jjm@yandex.ru

Selimyan Maksim Olegovich, Research Associate, North-West Research Institute of Dairy and Meadow Pasture Farming named after A. S. Emelyanov - the separate subdivision of the Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda Region, Vologda District, Molochnoye Village, Lenin Str., 14), http:// orcid.org/0000-0002-6681-7879, e-mail: sss090909@mail.ru

Bogoradova Liudmila Nikolaevna, Research Assistant, Senior Researcher, North-West Research Institute of Dairy and Meadow Pasture Farming named after A. S. Emelyanov - the separate subdivision of the Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 160555, Vologda Region, Vologda District, Molochnoye Village, Lenin Str., 14), http:// orcid.org/0000-0003-1936-2821, e-mail: liudmila.bogoradova@yndex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-46

THE USAGE OF THE SORGHUM GRAIN IN THE HIGH-PRODUCTIVE COWS FEEDING

[1]Zoteev S. V., [2]Zoteev V. S., [3]Chehranova S. V., [3]Nikolaev S. I., [3]Vorontsova E. S., [3]Vodyannikova V. V.

[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

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 23.01.2026 Submitted 06.06.2026

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. Approximately 51 % of sorghum crops are used for livestock feed, while the remaining 49 % are intended for human nutrition and other needs. Sorghum is often compared to corn and wheat, and this is no coincidence: in terms of feed value, it is almost as good as corn, and in terms of total carbohydrate content, it is comparable to the best forage crops. Whole-grain sorghum surpasses corn in protein content, although it is inferior in vitamin A. The nutritional value of the grain varies from 90 % to almost the full equivalent of corn, which confirms its high suitability as high-quality fodder. **The object** of research is sorghum grain and its nutritional value. **Materials and methods.** The research was conducted according to

generally accepted methods at EcoNivaAgro LLC. **Results and conclusions.** In the course of the digestibility experiment, it was found that feeding compound feeds with sorghum grain contributed to an increase in the degree of digestion of nutrients. Thus, compared with the indicators of the control group, the digestibility of dry matter by cows of the experimental groups increased by 0.82 % and 1.15 %, organic matter – by 0.89 % and 1.22 %, crude protein – by 1.14 % and 1.67 %, crude fiber – by 0.73 % and 0.95 %, crude fat – by 1.10 % and 1.45 %, nitrogen-free extractive substances – by 1.13 % and 1.41 %. Feeding compound feeds with the inclusion of sorghum grain increased the number of ciliates by 1.95 % and 2.15 %, and the total number of microorganisms by 5.30 % and 7.43 %. An increase in fat in the milk of cows of the experimental groups was revealed in comparison with the control group by 0.04 % and 0.06 %. The protein content in the milk of cows of the 1st and 2nd experimental groups turned out to be 3.57 %, which is 0.04 % more than in the control group. In terms of milk solids, there was a difference of 0.16 % and 0.19 % in favor of the experimental groups. The lactose content in the milk of cows in the control group was at the level of 4.62 %, and in the experimental groups this indicator was higher by 0.04 % and 0.05 %, respectively. Thus, it can be concluded that with proper processing and balanced combination with other feed ingredients, sorghum grain can serve as the main source of grain in the diet of dairy cows.

Keywords: *feed nutritional value, dairy cows feeding, diets for dairy cows, grain feed, dairy cows.*

Citation. Zoteev S. V., Zoteev V. S., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V. The usage of the sorghum grain in the high-productive cows feeding. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 417-425 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-46.
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 636.2.034+636.085+633.174

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕРНА СОРГО В КОРМЛЕНИИ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ КОРОВ

[1]**Зотеев С. В.,** *кандидат сельскохозяйственных наук*
[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*
[3]**Водянникова В. В.,** *доктор биологических наук, доцент*

[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

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. Примерно 51 % посевов сорго идёт на корм скоту, тогда как остальные 49 % предназначены для питания людей и других нужд. Сорго часто сравнивают с кукурузой и пшеницей, и не случайно: по кормовой ценности оно практически не уступает кукурузе, а по общему содержанию углеводов сопоставимо с лучшими фуражными культурами. Цельнозерновое сорго превосходит кукурузу по содержанию белка, хотя уступает ей по витамину А. Питательная ценность зерна варьируется от 90 % до практически полного эквивалента кукурузному, что подтверждает его высокую пригодность в качестве качественного фуража. **Объект.** Объектом исследований является зерно сорго и его питательная ценность. **Материалы и методы.** Исследования проводились согласно общепринятым методикам в ООО «ЭкоНиваАгро». **Результаты и выводы.** В ходе опыта по переваримости было установлено, что скармливание комбикормов с зерном сорго способствовало увеличению степени переваривания питательных веществ. Так, по сравнению с показателями контрольной группы переваримость сухого вещества коровами опытных групп увеличилась на 0,82 % и 1,15 %, органического вещества – на 0,89 % и 1,22 %, сырого протеина – на 1,14 % и 1,67 %, сырой клетчатки – на 0,73 % и 0,95 %, сырого жира – на 1,10 % и 1,45 %, БЭВ – на 1,13 % и 1,41 %. Скармливание комбикормов с включением зерна сорго способствовало увеличению количества инфузорий на 1,95 % и 2,15 %, и общего количества микроорганизмов – на 5,30 % и 7,43 %. Выявлено увеличение жира в молоке коров опытных групп по сравнению с контрольной на 0,04 % и 0,06 %. Содержание белка в молоке коров 1-й опытной и 2-й опытной групп оказалось на уровне 3,57 %, что больше, чем в контрольной группе на 0,04 %. По сухому веществу в молоке наблюдалась разница в пользу опытных групп на 0,16 % и 0,19 %. Содержание лактозы в молоке коров контрольной группы оказалось на уровне 4,62 %, а в опытных группах этот показатель был выше соответственно на 0,04 % и 0,05 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что при правильной обработке и сбалансированном сочетании с другими кормовыми ингредиентами зерно сорго может служить основным источником зерна в рационе дойных коров.

Ключевые слова: *питательность кормов, кормление дойных коров, рационы дойных коров, зерновые корма, дойные коровы.*

Цитирование. Зотеев С. В., Зотеев В. С., Чехранова С. В., Николаев С. И., Воронцова Е. С., Водянникова В. В. Использование зерна сорго в кормлении высокопродуктивных коров. Известия НВ АУК. 2026. 3(87). 417-425. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-46.

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. Правильное рациональное кормление позволяет реализовать генетический потенциал сельскохозяйственных животных в значительно большей мере [3, 4, 8, 9]. Для этого рацион должен включать клетчатку, протеин, жиры, крахмал, сахара, макро- и микроэлементы – именно они определяют поедаемость, переваримость и усвояемость питательных веществ, синтез микробного белка и направленность бродильных процессов в преджелудках [1, 2, 5, 10]. При этом кормовая программа должна оставаться экономически эффективной: на коммерческих откормочных площадках от 75 до 80 % всех расходов приходится именно на корма. Зерновые культуры вводят в рационы дойных коров для повышения энергетической ценности и, как следствие, продуктивности [6, 7].

Повышенный интерес к сорго как кормовой культуре объясняется его морфологическим сходством с кукурузой (несмотря на овальную форму и меньший размер зерна). Обе культуры имеют крупный зародыш, а их эндосперм состоит из роговой и мучнистой частей, что позволяет перерабатывать сорго с использованием уже существующих технологий, разработанных для кукурузы. Однако сорго – это не просто альтернатива, а стратегическая культура для агробизнеса: оно климатически устойчиво, выдерживает температуры до +45 °C и потребляет на 30-40 % меньше воды, чем кукуруза. Сорго мультифункционально (пища, корма, биотопливо, экоматериалы), снижает нагрузку на почву и воду, дешевле кукурузы при схожей питательности и имеет меньший углеродный след.

Среди зерновых культур сорго выделяется высоким содержанием крахмала. Лидером по этому показателю остается пшеница (до 77 %), за ней следуют сорго и кукуруза (примерно по 72 %), тогда как у ячменя с овсом этот показатель заметно ниже – всего 57-58 %. Крахмальные гранулы в сорго устроены сложнее: они образованы двумя типами полисахаридов – линейной амилозой и разветвленным амилопектином [11]. Амилоза обладает более кристаллической структурой, усваивается труднее амилопектина и рассматривается как важная форма резистентного (устойчивого к перевариванию) крахмала; ее содержание обратно пропорционально усвояемости крахмала [13].

Крахмал – важное питательное вещество в рационах высокопродуктивных молочных коров. Согласно рекомендациям, лактирующим дойным коровам требуется от 22 до 30 % пищевого крахмала для поддержания высокого уровня молокообразования, причем основная его доля поступает из зерновых культур. Традиционные источники крахмала – пшеница и кукуруза – экономически эффективны и обладают более высокой способностью к разложению в рубце, чем сорго. Пшеница и ячмень содержат большую долю мучнистого эндосперма, тогда как кукуруза и, в особенности, сорго имеют плотную крахмало-белковую матрицу и значительное количество периферического эндосперма, что повышает их устойчивость к микробной активности [12].

После поступления в рубец крахмал ферментируется амилолитическими бактериями, грибами и простейшими с образованием летучих жирных кислот (ЛЖК), которые всасываются через стенку рубца. Реакция удоя на крахмал зависит от его источника и присущей ему способности к разложению. Соотношение ЛЖК в рубце определяется составом рациона и скоростью всасывания, которая положительно коррелирует с площадью поверхности рубцовых сосочков. При нейтральном pH уксусная, пропионовая и масляная кислоты всасываются сходным образом. При снижении pH картина меняется: скорость абсорбции пропионовой и уксусной кислот снижается в меньшей степени, чем масляной (которая в кислой среде задерживается). Таким образом, рубцовый pH служит ключевым фактором, модулирующим всасывание отдельных ЛЖК.

В рубце крахмал быстро ферментируется с образованием пропионата, который в печени используется как предшественник глюкозы. Непереваренный крахмал проходит в тонкий кишечник, где расщепляется панкреатической амилазой до глюкозы. Обобщая дан-

ные 20 исследовательских испытаний, Seymour W., Campbell D. and Johnson Z. (2005) подтвердили, что удой молока у лактирующих коров высоко коррелирует с концентрацией в рубце бутирата (R^2 = 0,43) и пропионата (R^2 = 0,23) [14]. Следовательно, повышение концентрации этих кислот за счет улучшения потребления и усвояемости крахмала может приводить к росту молочной продуктивности.

В связи с изменением климата и сокращением объемов оросительной воды перспективной альтернативой традиционным зерновым (кукурузе и пшенице) становится зерно сорго сорта «Рось», требующее значительно меньше влаги при возделывании. Цельное зерно сорго в пересчете на натуральное вещество (при естественной влажности) содержит 89-90 % сухого вещества. В его составе (в расчете на сухое вещество): сырой протеин – от 8,9 до 15 %, сырая клетчатка – 2,1-2,3 %, эфирный экстракт – 2,8 %, зола – 1,5-1,7 %, безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) – 71,7-72,3 %. По содержанию сырого протеина сорго превосходит кукурузу и находится примерно на уровне пшеницы. Энергетическая ценность сорго составляет 90-100 % от кукурузной. По жиру сорго уступает кукурузе, но превосходит пшеницу.

Сорго отличается низким уровнем лизина, но высоким содержанием триптофана по сравнению с кукурузой. Обе культуры содержат основные лимитирующие незаменимые аминокислоты: аргинин, лизин, метионин, цистин и триптофан. Содержание ксантофиллов и линолевой кислоты в сорго значительно ниже, чем в кукурузе, тогда как желтый эндосперм с каротином и ксантофиллами повышает его питательную ценность. Сорго богато фосфором, марганцем, железом, цинком и калием. Само по себе сорго известно высоким содержанием клетчатки и танина.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке продуктивности и переваримости кормов у лактирующих коров, получавших полнорационную кормосмесь (комбикорм), в которой часть кукурузы и пшеницы была замещена зерном сорго сорта «Рось».

Материалы и методы. В условиях ООО «ЭкоНиваАгро» Воронежской области с целью изучения влияния частичной замены кукурузы и пшеницы на сорго сорта «Рось» в комбикорме на продуктивность дойных коров голштинской породы был проведен научно-хозяйственных опыт. Коровы были подобраны в группы путем метода пар-аналогов.

Продолжительность опыта составила: 10 дней – период для выравнивания групп, 14 дней – переходный период, 110 дней – главный период.

Научный опыт проводился по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1 – Схема опыта
Table 1 – Experimental scheme

Период опыта / Experimental period	Продолжительность периода, дн. / Duration of the period, days	Подопытная группа коров / Experimental group of cows	Количество коров в группе, гол. / Number of cows in the group	Особенности кормления / Feeding features
Подготовительный / Preparatory period	10	Контрольная / Control	16	Хозяйственный рацион / Household ration
		1-я опытная / Test 1	16	
		2-я опытная / Test 2	16	
Переходный / Transitional period	14	Контрольная / Control	16	Хозяйственный рацион / Household ration
		1-я опытная / Test 1	16	Приучение к рациону № 1 / Habituation to diet No. 1
		2-я опытная / Test 2	16	Приучение к рациону № 2 / Habituation to diet No. 2
Главный / Main period	110	Контрольная / Control	16	Хозяйственный рацион / Household ration
		1-я опытная / Test 1	16	Рацион № 1 / Diet No. 1
		2-я опытная / Test 2	16	Рацион № 2 / Diet No. 2

Хозяйственный рацион был идентичным для всех подопытных групп животных и включал в себя следующие кормовые средства: сенаж люцерновый, силос кукурузный, сено разнотравное, сухая пивная дробина, сухой жом, комбикорм.

В переходный период коровы контрольной группы получали хозяйственный рацион; 1-ю опытную группу приучали к рациону № 1, который состоял из хозяйственного рациона, в котором была произведена замена в комбикорме 50 % зерна кукурузы на аналогичное количество по массе зерно сорго, имеющее минимальное количество танинов; 2-ю опытную группу приучали к рациону № 2, который также состоял из хозяйственного рациона, в котором была проведена полная замена зерна пшеницы зерном сорго.

В главный период опыта подопытные животные контрольной группы получали хозяйственный рацион, 1-й опытной группы – рацион № 1, 2-й опытной группы – рацион № 2.

Кормление животных осуществлялось на основании норм потребности в питательных веществах с учетом физиологического состояния и фактической продуктивности коров.

Молочную продуктивность подопытных коров оценивали с помощью автоматизированной системы управления стадом Dairy Plan. Данная система не только ведет учет доения, но и фиксирует ключевые показатели воспроизводства. Принцип ее работы основан на считывании информации с транспондеров (электронных меток), закрепленных на ошейнике животного. Сигнал поступает на процессор, который идентифицирует каждую корову и сохраняет индивидуальные данные. Такой подход обеспечивает высокую точность регистрируемых показателей как по надоям, так и по физиологическому состоянию животных.

Потребление корма коровами по каждой группе определяли в течение двух смежных дней в соответствии с разницей между массой выданного корма и массой его остатков. Уровень переваривания основных питательных веществ рационов, отложение в организме коров азота, кальция и фосфора определяли во второй половине проведения главного периода опыта. Для этого, согласно методике Е. И. Симон, М. Ф. Томмэ, А. И. Овсянникова, были отобраны по 3 коровы из каждой группы.

Несъеденные остатки кормов собирали ежедневно в ходе учетного периода, они подвергались взвешиванию. В конце учетного периода для анализа были сделаны усредненные выборки из неизрасходованных остатков кормов. Расчеты проводились по результатам анализов выделяемых животными экскрементов, остатков корма и выдаваемых кормов.

Клинические и физиологические показатели экспериментальных животных учитывались в ходе научно-хозяйственного опыта.

С целью выявления воздействия изучаемых рационов на процессы ферментации, протекающие в рубце подопытных коров, было отобрано по 3 коровы из каждой группы. Затем с помощью пищевого зонда были взяты образцы содержимого рубца (через 3 часа после утреннего кормления). В рубцовой жидкости концентрация ЛЖК и их соотношением определялись в аппарате Маркгама методом перегонки с водяным паром; содержание аммиака – методом микродиффузии; уровень кислотности рубцовой жидкости – с использованием pH-метра; общее количество микроорганизмов и количество инфузорий – подсчетом в камере Горяева.

Результаты и обсуждение. В процессе исследований по оценке эффективности скармливания низкотанинового сорта сорго «Рось» дойным коровам голштинской породы были получены следующие результаты.

Критерием эффективности использования кормов является степень переваривания питательных веществ (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты переваримости питательных веществ рационов подопытными коровами, %
Table 2 – Digestibility coefficients of feed nutrients by the experimental cows, %

Группа / Group	Показатель / Indicator					
	Сухое вещество / Dry matter	Органическое вещество / Organic matter	Сырой протеин / Crude protein	Сырая клетчатка / Crude fiber	Сырой жир / Crude fat	БЭВ / Nitrogen-free extract
Контрольная / Control	70,64 ± 0,28	71,14 ± 0,31	67,69 ± 0,23	61,84 ± 0,25	64,35 ± 0,33	77,55 ± 0,30
1-я опытная / Test 1	71,22 ± 0,32	71,77 ± 0,26	68,46 ± 0,32	62,29 ± 0,29	65,06 ± 0,25	78,43 ± 0,27
2-я опытная / Test 2	71,45 ± 0,31	72,01 ± 0,33	68,82 ± 0,28	62,43 ± 0,31	65,28 ± 0,28	78,64 ± 0,34

В ходе опыта по переваримости было установлено, что скармливание комбикормов с зерном сорго способствовало увеличению степени переваривания питательных веществ. Так, по сравнению с показателями контрольной группы, переваримость сухого вещества коровами опытных групп увеличилась на 0,82 % и 1,15 %, органического вещества – на 0,89 % и 1,22 %, сырого протеина – на 1,14 % и 1,67 %, сырой клетчатки – на 0,73 % и 0,95 %, сырого жира – на 1,10 % и 1,45 %, БЭВ – на 1,13 % и 1,41 %.

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 коров / Cows group		
	контрольная / control	1-я опытная / test 1	2-я опытная / test 2
pH	6,83 ± 0,07	6,75 ± 0,08	6,77 ± 0,09
ЛЖК, ммоль/100 мл / LPC, mmol/100 ml	107,53 ± 0,42	109,21 ± 0,77	110,34 ± 0,83
Аммиак, мг % / Ammonia, mg %	13,27 ± 0,44	12,85 ± 0,38	12,31 ± 0,46
Общее количество микроорганизмов, млрд/мл / Total number of microorganisms, billion/ml	9,82 ± 0,14	10,34 ± 0,27	10,55 ± 0,23
Число инфузорий, тыс./мл / Number of ciliates, thousand/ml	442,25 ± 20,92	450,87 ± 21,56	451,75 ± 22,03
Целлюлозолитическая активность, % / Cellulolytic activity, %	14,90 ± 1,11	15,10 ± 1,02	15,30 ± 1,22
Амилолитическая активность, ед/мл / Amylolytic activity, units/ml	28,60 ± 1,82	28,90 ± 1,45	29,10 ± 1,53

При анализе данных таблицы 3, можно отметить, что pH рубцового содержимого находилось в пределах оптимальных значений (норма 6,5-7,2), но отмечалось незначительное снижение данного показателя в группах, где коровам скармливали комбикорм с сорго.

Концентрация аммиака в рубцовом содержимом от коров опытных групп имела тенденцию к снижению, что свидетельствует о более эффективном использовании протеина микрофлорой рубца.

Количество ЛЖК имеет тесную взаимосвязь с качеством и питательностью рациона. Отмечалось повышение данного показателя в опытных группах соответственно на 1,56 % и 2,61 % по сравнению с контрольной группой.

Скармливание комбикормов с включением зерна сорго способствовало увеличению количества инфузорий на 1,95 % и 2,15 %, и общего количества микроорганизмов – на 5,30 % и 7,43 %.

Таким образом, исследования переваримости питательных веществ и показателей рубцового содержимого свидетельствуют о более оптимальных процессах пищеварения у коров, которым скармливали комбикорм с зерном сорго.

Молочная продуктивность и качественные показатели молока служат основным критерием эффективности применения различных кормов и добавок (таблица 4).

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 / test 1	2-я опытная / test 2
Среднесуточный удой, кг / Average daily milk yield, kg	38,87 ± 0,51	39,93 ± 0,60	40,27 ± 0,62
% жира в молоке / % fat in milk	3,87 ± 0,04	3,91 ± 0,05	3,93 ± 0,04
% белка в молоке / % protein in milk	3,53 ± 0,03	3,57 ± 0,05	3,57 ± 0,04
Сухое вещество, % / Dry matter, %	12,69 ± 0,09	12,85 ± 0,09	12,88 ± 0,07
СОМО, %	8,82 ± 0,09	8,94 ± 0,10	8,95 ± 0,08
Лактоза, % / Lactose, %	4,62 ± 0,07	4,66 ± 0,05	4,67 ± 0,04
Зола, % / Ash, %	0,67 ± 0,04	0,71 ± 0,02	0,71 ± 0,03

На основании результатов контрольных доений был установлен среднесуточный удой за период опыта, который в контрольной группе коров составил 38,87 кг. Скармливание испытуемых комбикормов с включением зерна сорго способствовало увеличению данного показателя на 2,73 % в 1-й опытной группе по сравнению с контрольной и на 3,60 % во 2-й опытной.

По качественным характеристикам молока достоверных изменений отмечено не было, однако прослеживалась тенденция к их улучшению. Так, увеличение жира в молоке коров опытной группы по сравнению с контрольной составило 0,04 % и 0,06 %. Содержание белка в молоке коров 1-й и 2й-опытной групп оказалось на одном уровне 3,57 %, что больше, чем в контрольной группе на 0,04 %. По сухому веществу в молоке наблюдалась разница в пользу опытных групп на 0,16 % и 0,19 %. Содержание лактозы в молоке коров контрольной группы оказалось на уровне 4,62 %, а в опытных группах этот показатель был выше соответственно на 0,04 % и 0,05 %. Концентрация золы в молоке коров опытных групп была аналогичной, но выше, чем в контрольной группе на 0,04 %.

Таким образом, скармливание комбикорма с зерном сорго оказало положительное влияние на показатели молочной продуктивности коров.

Заключение. Организация кормления высокопродуктивных молочных коров – одна из ключевых задач в скотоводстве, решение которой направлено на максимальное проявление наследственно обусловленной продуктивности животных.

При проведении нами научных исследований установлено, что скармливание комбикормов с зерном сорго способствовало увеличению степени переваривания питательных веществ рационов. Так, по сравнению с показателями контрольной группы переваримость сухого вещества коровами опытных групп увеличилась на 0,82 % и 1,15 %, органического вещества – на 0,89 % и 1,22 %, сырого протеина – на 1,14 % и 1,67 %, сырой клетчатки – на 0,73 % и 0,95 %, сырого жира – на 1,10 % и 1,45 %, БЭВ – на 1,13 % и 1,41 %. Анализ переваримости питательных веществ и показателей рубцового содержимого свидетельствовал о более оптимальных пищеварительных процессах у коров, получавших комбикорм с зерном сорго.

Доказано, что скармливание комбикорма с зерном сорго оказывало положительное влияния на потребление сухого вещества рациона. Удой молока, его качественные показатели, а также содержание макрокомпонентов молока и показатели коагуляции были выше в опытных группах.

Таким образом, можно сделать вывод, что при правильной обработке и сбалансированном сочетании с другими кормовыми ингредиентами зерно сорго может служить основным источником зерна в рационе дойных коров.

Conclusion. The organization of feeding highly productive dairy cows is one of the key tasks in cattle breeding, the solution of which is aimed at maximizing the hereditary productivity of animals.

During our scientific research, it was found that feeding compound feeds with sorghum grain contributed to an increase in the degree of digestion of nutrients in diets. Thus, compared with the indicators of the control group, the digestibility of dry matter by cows of the experimental groups increased by 0.82 % and 1.15 %, organic matter – by 0.89 % and 1.22 %, crude protein – by 1.14 % and 1.67 %, crude fiber – by 0.73 % and 0.95 %, crude fat – by 1.10 % and 1.45 %, nitrogen-free extractive substances – by 1.13 % and 1.41 %. An analysis of the digestibility of nutrients and indicators of scar content indicated more optimal digestive processes in cows fed with sorghum grain.

It has been proven that feeding mixed feed with sorghum grain had a positive effect on the intake of dry matter in the diet. Milk yield, its quality indicators, as well as the content of milk macro components and coagulation indicators were higher in the experimental groups.

Thus, it can be concluded that with proper processing and balanced combination with other feed ingredients, sorghum grain can serve as the main source of grain in the diet of dairy cows.

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. Горлов И. Ф. и др. Влияние новой кормовой добавки «Имолакт» на продуктивность и показатели качества молока коров красной степной породы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 278-290.
3. Дуборезов В. М., Цис Е. Ю. Молочная продуктивность коров при разных способах их содержания. Ветеринария и кормление. 2025. № 5. С. 32-35.
4. Зялалов Ш. Р., Дежаткина С. В., Феоктистова Н. А. Показатели обмена веществ у лактирующих коров при скармливании им добавки модифицированного цеолита, обогащённого аминокислотами «Витаамин». Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2 (62). С. 94-101.

5. Михалева Е. В. и др. Использование комплексной минеральной добавки в рационах стельных сухостойных и дойных коров. Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 2 (108). С. 28-31.
6. Горлов И. Ф. и др. Продуктивность и качество молока разных пород коров в условиях Южного Федерального округа. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2026. № 1 (85). С. 280-287.
7. Суханова С. Ф., Позднякова Н. А. Влияние кормовых минеральных добавок на продуктивность лактирующих коров. Вестник Курганской ГСХА. 2024. № 4 (52). С. 41-50.
8. Сычева Л. В., Суханова С. Ф. Использование кормовой добавки «Живой белок» в рационах лактирующих коров. Вестник Курганской ГСХА. 2025. № 3 (55). С. 39-45.
9. Цис Е. Ю., Дуборезов В. М. Характеристика компонентного состава молока первотелок при разном уровне кормления. Аграрная наука. 2025. № 1. С. 86-92.
10. Скрыпка С. Н. и др. Эффективность использования премикса «ULTRA» при кормлении дойных коров. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 348-355.
11. Bryden W. L., Li X., Ravindran G., Hew L. I., Ravindran V. Ileal digestible amino acids values in feedstuffs for poultry. Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC Publication 2009. No. 09 (71). 76 p.
12. Gómez L. M., Posada S. L., Olivera M. Starch in ruminant diets: a review. Columbia Journal of Animal Science. 2016. 29. Pp. 77-90.
13. Sang Y., Bean S., Seib P. A., Pedersen J., Shi Y-C. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. Journal Agricultural Food Chemistry. 2008. No. 56. Pp. 6680-6685.
14. Seymour W., Campbell D., Johnson Z. Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows: A literature study. Animal Feed Science and Technology. 2005. No. 119. Pp. 155-169.

References

1. Pirogov D. A. et al. Megabust Rumen rumen microflora activator in feeding cows. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 2 (80). Pp. 290-298.
2. Gorlov I. F. et al. Influence of the new feed additive Imolact on the productivity and milk quality indicators of red steppe cows. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No. 2 (80). Pp. 278-290.
3. Duborezov V. M., Tsis E. Yu. Dairy Productivity of Cows under Different Housing Conditions. Veterinary Medicine and Feeding. 2025. No. 5. Pp. 32-35.
4. Zyalalov Sh. R., Dezhatkina S. V., Feoktistova N. A. Indicators of metabolism in lactating cows when feeding them an additive of modified zeolite enriched with amino acids "Vitaamin". Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 2 (62). Pp. 94-101.
5. Mikhaleva E. V. et al. The use of a complex mineral supplement in the diets of pregnant dry cows and dairy cows. Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. No. 2 (108). Pp. 28-31.
6. Gorlov I. F. et al. Productivity and quality of milk from different breeds of cows in the Southern Federal District. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2026. No. 1 (85). Pp. 280-287.
7. Sukhankova S. F., Pozdnyakova N. A. Influence of feed mineral supplements on the productivity of lactating cows. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2024. No. 4 (52). Pp. 41-50.
8. Sycheva L. V., Sukhankova S. F. Use of the feed supplement "Live Protein" in the diets of lactating cows. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2025. No. 3 (55). Pp. 39-45.
9. Tsis E. Yu., Duborezov V. M. Characteristics of the component composition of milk from first-calf heifers at different levels of feeding. Agrarian Science. 2025. No. 1. Pp. 86-92.
10. Skripka S. N. et al. The effectiveness of using the ULTRA premix in feeding dairy cows. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education.. 2025. No. 1 (79). Pp. 348-355.
11. Bryden W. L., Li X., Ravindran G., Hew L. I., Ravindran V. Ileal digestible amino acids values in feedstuffs for poultry. Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC Publication 2009. No. 09 (71). 76 p.
12. Gómez L. M., Posada S. L., Olivera M. Starch in ruminant diets: a review. Columbia Journal of Animal Science. 2016. 29. Pp. 77-90.
13. Sang Y., Bean S., Seib P. A., Pedersen J., Shi Y-C. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. Journal Agricultural Food Chemistry. 2008. No. 56. Pp. 6680-6685.
14. Seymour W., Campbell D., Johnson Z. Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows: A literature study. Animal Feed Science and Technology. 2005. No. 119. Pp. 155-169.

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
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 «Кормление и разведение сельскохозяйственных животных», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Authors' Information

Zoteev Stepan Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, L. K. Ernst Moscow State Medical University (Russian Federation, 142132, Moscow Region, Podolsky District, Dubrovitsy Village, 47), e-mail: stephan007@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

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-47

THE OPTIMIZATION OF THE DAIRY CATTLE FODDER DIETS NUTRITIONAL COMPOSITION

Kosareva N. A., Novikova N. N.

Omsk Agrarian Scientific Center
Omsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: dnatasha1991@mail.ru

Received 26.01.2026 Submitted 30.03.2026

The research was conducted as part of the research project on the topic of «Improving the productive performance of dairy cows and a field forage production system that meets the requirements of efficient livestock farming using modern biological methods» (FNUN-2025-0017).

Summary

This article is devoted to the preparation of rations for dairy cows using grain crops of Omsk selection when adjusting the nutritional value of the farm ration, as well as the economic feasibility of their use when calculating the annual feed base requirement of the farm.

Abstract

Introduction. Adjusting diets for the nutritional value of feed allows for achieving high milk yields, maintaining cow health, and reducing the economic costs of expensive additives. The aim of our study was to develop diets for dairy cows using grain crops bred in Omsk and to substantiate their effectiveness. **Materials and methods.** The study was conducted in the Omsk Region on Black-and-White dairy cows. Nine samples of feed were analyzed in the animal husbandry laboratory of the Omsk Scientific Research Center using a complete zootechnical analysis scheme: brewer's grain, wheat flour (wheat + barley + oats), sunflower cake, wheat straw, grass silage, grass haylage, Omskiy 100 barley, Omskiy 19 peas, and Orion oats. The correction was carried out by replacing the concentrated feed of the farm ration with a concentrate mixture (Omskiy 100 barley + Omskiy 19 peas + Orion oats) represented by varieties bred at the Omsk Agricultural Research Center. **Results and conclusions.** An analysis of the nutritional value of the farm ration for dairy cows revealed that its structure was represented by a silage-concentrate feeding type with an excess of digestible protein per 1 EFU, resulting in a 0.4 g imbalance in the sugar-protein ratio. The adjusted ration differed from the farm ration in that we reduced the daily intake of grass haylage by 5 kg and sunflower cake by 1 kg, removed brewer's grain from the ration, and replaced grain meal with varieties bred at Omsk. The feeding pattern was changed to silage and haylage, while the sugar-to-protein ratio was balanced. In the concentrated mixture we proposed, crude protein was 37.2 g lower, sugar was 11.13 g higher, calcium was slightly higher by 0.06 g, and phosphorus was 0.81 g compared to the concentrate meal main ration. The adjusted ration for dairy cows was nutritionally balanced. When calculating the economic indicators of the annual feed and feed additive requirement, including all losses during feed procurement and storage, as well as the insurance fund, it amounted to 177,658.14 centners per year, which is 1.2 times less than the farm ration.

Keywords: *dairy cows, dairy cow diets, feed nutritional value, dairy cow diet composition.*

Citation. Kosareva N. A., Novikova N. N. The optimization of the dairy cattle fodder diets nutritional composition. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 425-432 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-47.

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

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

УДК 636.2.084.41+636.2.034

ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОГО СОСТАВА КОРМОВЫХ РАЦИОНОВ ДЛЯ МОЛОЧНОГО СКОТА

Косарева Н. А., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Новикова Н. Н., *кандидат ветеринарных наук*

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»
г. Омск, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения научно-исследовательской работы по теме «Совершенствование продуктивных показателей коров молочных пород и системы полевого кормопроизводства отвечающего требованиям эффективного животноводства с использованием современных биологических методов» (№ FNUN-2025-0017).

Актуальность. Коррекция рационов по питательной ценности кормов позволяет достичь высоких надоев, поддержать здоровье коров и снизить экономические затраты на дорогостоящие добавки. Целью нашего исследования являлось создание рационов на основе применения зерновых культур Омской селекции в рационах дойных коров с обоснованием их эффективности. **Материалы и методы.** Исследования проводили в Омской области на дойных коровах черно-пестрой породы. Корма исследовали в лаборатории животноводства ФГБНУ «Омского АНЦ» по схеме полного зоотехнического анализа в количестве 9 образцов: пивная дробина, дерть (пшеница + ячмень + овес), жмых подсолнечный, солома пшеничная, силос травяной, сенаж травяной, ячмень Омский 100, горох Омский 19, овес Орион. Коррекцию проводили путём замены концентрированного корма хозяйственного рациона на концентратную смесь (ячмень Омский 100 + горох Омский 19 + овес Орион) представленные сортами селекции ФГБНУ «Омский аграрный научный центр». **Результаты и выводы.** В результате проведенного анализа хозяйственного рациона для дойных коров по питательной ценности кормов определили, что его структура представлена силосно-концентратным типом кормления при избытке переваримого протеина на 1 ЭКЕ, что выражалось в нарушении баланса сахаро-протеинового отношения на 0,4 г. Скорректированный рацион отличался от хозяйственного тем, что мы уменьшили суточную дачу сенажа травяного на 5 кг, жмыха подсолнечного на 1 кг, убрали из рациона пивную дробину и заменили зерновую дерть на сорта омской селекции. Тип кормления изменился на силосно-сенажный при выравнивании баланса отношения сахара к протеину. В предложенной нами концентрированной смеси уровень сырого протеина оказался ниже на 37,2 г, сахара выше на 11,13 г, кальция незначительно выше на 0,06 г, а фосфор составил 0,81 г по сравнению с концентратной дертью основного рациона. Скорректированный рацион дойных коров был сбалансирован по питательности. При расчёте экономических показателей годовой потребности в кормах и кормовых добавках с учетом всех потерь при заготовке и хранении кормов, а также страхового фонда она составила 177 658,14 ц в год, что в 1,2 раза меньше, чем хозяйственный рацион.

Ключевые слова: *дойные коровы, рационы дойных коров, питательность кормов, состав рационов дойных коров*.

Цитирование. Косарева Н. А., Новикова Н. Н. Оптимизация питательного состава кормовых рационов для молочного скота. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 425-432. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-47.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Молочная промышленность является важнейшим компонентом глобальных продовольственных систем, обеспечивая необходимое питание и экономическую выгоду для миллиардов людей по всему миру [1]. Рациональное и дифференцированное обеспечение кормами коров на молочном производстве предполагает комплекс мер, начиная с оптимизации условий кормления (высококачественные корма, современные технологии их подготовки, автоматизированная подача и удобные места для потребления) и заканчивая системой мониторинга и контроля всего процесса. Такой подход, способствует увеличению прибыли предприятия за счет повышения объемов производства молока [2, 3, 4].

Составление рационов для молочного скота требует научного подхода и точного соблюдения норм кормления. Питательная ценность кормов не является фиксированной величиной и варьируется в зависимости от их состава и общего баланса в рационе. Такой подход позволяет одновременно достичь высоких надоев и поддержать здоровье коров [5]. Повышение продуктивности часто достигается за счет увеличения концентратов, это несет риск развития ацидоза рубца [6, 7]. Поэтому, сокращение доли концентратов на 10 % в рационах коров в период раздоя с надоями 30 кг молока в сутки положительно сказывается

на пищеварительных процессах [8]. Использование комбикорма с кормовой добавкой 20-25 % от массы вместо части зерна может улучшить усвояемость кормов и повысить молочную продуктивность на 6,2-7,2 % [9]. Повысить питательные, вкусовые качества зерна и его переваримость возможно также путем физического воздействия на оболочку зерна методом кавитации или путем проращивания [10, 11].

В настоящее время в мировой практике составление сбалансированных рационов проводят с учетом выделяемых газов в атмосферу: так, добавление рапсового жмыха с овсом в рацион на основе травяного силоса увеличивает эффективность использования корма и снижает интенсивность выбросов метана у лактирующих коров. Замена в рационе, состоящем из травяного силоса, ячменя на лущеный овес в качестве концентрированной добавки для молочных коров снижает выброс метана без изменения удоя [12, 13].

Главным условием хороших концентратов остается их питательная ценность в соответствии с сортом. Селекционеры создают новые перспективные сорта зерновых культур с повышенными показателями качества зерна и продуктивности в различных климатических условиях вегетации: сухих, засушливых и с оптимальным уровнем влаги [14]. В тоже время специалисты полевого кормопроизводства предлагают их введение в состав агрофитоценозов, что способствует достижению высоких показателей урожайности зелёной массы, сухого вещества и сбора переваримого протеина [15].

Целью нашего исследования являлась оптимизация рационов для молочного скота по питательной ценности кормов.

Материалы и методы. Исследования проводили в аграрном предприятии Омской области по разведению племенного крупного рогатого скота молочного направления черно-пестрой породы.

Объектом исследования являлись коровы дойного стада 600 голов.

Корма исследовали в лаборатории животноводства ФГБНУ «Омского АНЦ» по схеме полного зоотехнического анализа в количестве 9 образцов отбор проб провели в июне 2025 г: пивная дробина, дерть (пшеница + ячмень + овес), жмых подсолнечный, солома пшеничная, силос травяной, сенаж травяной, ячмень Омский 100, горох Омский 19, овес Орион. Методики исследований включали определение: влаги высушиванием при температуре +103 °С – ГОСТ Р 54951-2012; сухого вещества – ГОСТ Р 54951-2012; сырого протеина по Къельдалю – ГОСТ 13496,4-2019; сырой клетчатки по Геннебергу и Штоману – ГОСТ 31675-2012; сырой золы – первым весовым методом – ГОСТ 26226-95; кальция – титриметрическим – ГОСТ 26570-95; фосфора – фотометрическим – ГОСТ 26657-97; сахара по Бертрану – ГОСТ 26176-2019; каротина – фотометрическим – ГОСТ 13496.17-2019; БЭВ, ЭКЕ, обменная энергия, переваримый протеин – расчётным методом.

Общую питательность кормов в рационе определяли расчётным методом, а качество и их классность в соответствие с ГОСТ Р 55452-2021 сено и сенаж, ГОСТ Р 55986-2022 силос и силаж, РСТ РСФСР 384-83 солома зерновых, крупяных, зернобобовых культур и трав, ГОСТ 80-96 жмых подсолнечный, ГОСТ 28672-2019 ячмень, ГОСТ 28674-2019 горох, ГОСТ 28673-2019 овес.

Содержание pH, молочной, уксусной, масляной кислот в общем количестве кислот в процентах определяли в соответствии с ГОСТ 26180-84.

Хозяйственный рацион дойных коров состоял из: силоса травяного – 15 кг, сенажа травяного – 15,0 кг, соломы пшеничной – 2,0 кг, пивной дробины – 8,0 кг, дерти (ячмень – 3,0 кг, пшеница – 1,0 кг, овес – 0,5 кг), жмыха подсолнечного – 2,0 кг.

Предложенный рацион кормления составлен с применением ПК «Кормовые рационы». Коррекцию проводили путём замены концентрированного корма хозяйственного рациона на концентратную смесь (ячмень Омский 100 + горох Омский 19 + овес Орион) представленную сортами селекции ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» и допущенную к использованию по 10 Западно-Сибирскому региону.

Расчет годовой потребности хозяйственного и сбалансированного рационов проводили с помощью методического пособия. (Лаврентьев, А. Ю. Кормление животных: методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Кормление животных» / А. Ю. Лаврентьев, Н. В. Данилова. – Чебоксары, 2023. – 23 с.).

Результаты и обсуждение исследований. В лаборатории было исследовано 6 образцов хозяйственных кормов: пивная дробина, дерть (пшеница + ячмень + овес), жмых подсолнечный, солома пшеничная, силос травяной, сенаж травяной и ячмень Омский 100, горох Омский 19, овес Орион.

Сочные корма силос и сенаж в хозяйстве заготавливали в траншеях с биоконсервантом микробиовитом «Енисей». Исследуемые виды кормов обладали приятным запахом и соответствующей консистенцией, сохранившей структуру растений. Гнилостного распада и запаха плесени не наблюдали.

Концентрированные корма: жмых подсолнечный соответствовал требованиям ГОСТ, имел вид рассыпчатой однородной смеси с размером частиц от 2,0 до 4,0 мм без посторонних примесей и следов плесени, серого цвета, без затхлого и плесневого запаха. Пивная дробина имела густую консистенцию, была видна структура грубо размолотого зерна, присутствовал запах солода. Дерть (ячмень + пшеница + овес) желтого цвета с коричневыми включениями имела вид рассыпчатой однородной смеси с размером частиц от 1,5 до 2,0 мм без посторонних примесей и следов плесени. Зерна ячменя сорта Омский 100, гороха Омский 19 и овса Орион имели желтый цвет, приятный зерновой запах и были очищены от посторонних примесей. Зерна в одинаковом соотношении были размолоты до рассыпчатой однородной смеси с размером частиц от 1,5 до 2,0 мм.

Грубые корма: солома пшеничная была светло-желтого цвета с узлами светло-бурого цвета. Запах свежий, не затхлый, без посторонних запахов. Влажность – 7,6 %, содержание колосьев и мякины не более 12 % к массе партии. Содержание посторонних примесей отсутствует.

По питательности все корма соответствуют требованиям ГОСТ и отнесены к 1 и 2 классу. Питательная ценность кормов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели питательности кормов в хозяйстве Омской области
Table 1 – Nutritional values of feed in a farm in the Omsk region

Показатель массовой доли, ед. измерения / Mass fraction indicator, unit of measurement	Корма / Feed				
	сочные / juicy feeds		концентрированные / concentrated feeds		грубые / coarse feeds
	силос травяной / grass silage	сенаж травяной / grass haylage	пивная дробина / beer dregs	жмых подсолнечный / sunflower cake	солома пшеничная / wheat straw
ЭКЕ / ECE	0,29	0,69	0,23	0,91	0,89
обменная энергия, МДж / exchange energy, MJ	2,91	6,88	2,33	9,09	8,93
влаги, % / moisture, %	70,5	25,1	76,80	3,45	7,6
сухого вещества, г / dry matter, g	0,295	0,749	0,232	0,965	0,924
сырой клетчатки, г / crude fiber, g	92,3	153,2	34,6	249,1	364,0
сырой протеин, г / crude protein, g	25,8	45,4	50,7	216,9	30,2
переваримый протеин, г / digestible protein, g	12,4	20,2	3,80	16,27	5,9
каротин, г / carotene, g	10,0	15,0	1,6	2,0	4,0
сахар, г / sugar, g	3,0	8,5	1,3	62,6	5,0
кальций, г / calcium, g	3,63	2,9	0,5	5,9	7,67
фосфор, г / phosphorus, g	0,79	1,60	1,1	12,9	0,8

Содержание pH в силосе травяном – 4,75, в сенаже травяном – 7,34. Процент содержания молочной кислоты составил 72,5 % в силосе травяном и 80,5 % в сенаже травяном, а уксусной кислоты – 27,4 % и 19,4 % соответственно. В обоих вариантах кормов имелось небольшое количество масляной кислоты, что составило 0,1 %.

В результате проведенного анализа хозяйственного рациона для дойных коров по питательной ценности кормов определили, что его структура представлена силосно-концентратным типом кормления. Сочные корма по питательности занимают – 48,7 %, концентрированные – 45,6 %, грубые – 5,7 %. В рационе количество переваримого протеина в расчёте на 1 энергетическую кормовую единицу составляет 115,2 г, кальций-фосфорное отношение в 1,7:1, что соответствует норме 1,5-2:1, сахаро-протеиновое отношение в 0,4:1, что не соответствует норме 0,8-1,2:1. Таким образом, рацион дойных коров не сбалансирован по питательности, так как наблюдается недостаток сахара и фосфора (таблица 2).

Скорректированный нами рацион для дойных коров отличался от хозяйственного тем, что мы уменьшили суточную дачу сенажа травяного на 5 кг, жмыха подсолнечного – на 1 кг, убрали из рациона пивную дробину, заменили зерновые корма: ячмень на ячмень Омский 100, пшеницу на горох Омский 19, овес на овес Орион.

Затем сравнили питательность хозяйственного рациона с питательностью скорректированного нами рациона в соответствии с нормой для дойных коров живой массой 600 кг с удоем 26 кг и жирностью 3,9-4,0 %.

После корректировки рациона тип кормления стал силосно-сенажным. Структура скорректированного рациона представлена так: сочные корма – 70,9 %, концентрированные корма – 19,6 %, грубые корма – 9,5 %. В рационе дойных коров количество переваримого протеина в расчете на 1 энергетическую кормовую единицу составляет 92,82 г, кальциево-фосфорное отношение – 2,0:1, что соответствует норме, сахаро-протеиновое отношение – 0,9:1, что также соответствует норме.

Таблица 2 – Содержание элементов питания в рационах дойных коров, при плановой продуктивности 26 кг молока на корову
Table 2 – The content of nutrients in the diets of dairy cows, with a planned productivity of 26 kg of milk per cow

Показатель / Indicator	Норма / Norm	Хозяйственный рацион / Household diet		Сбалансированный рацион / Balanced diet	
		факт / fact	отклонение +/- / deviation+/-	факт / fact	отклонение +/- / deviation +/-
обменная энергия, МДж / metabolic energy, MJ	213,00	199,00	-14,00	189,96	-23,04
ЭКЕ / ECE	21,3	19,9	-1,4	18,96	-2,4
сухого вещества, кг / dry matter, kg	21,30	20,61	-0,69	20,23	-1,07
переваримый протеин, г / digestible protein, g	2045,0	2292,5	+247,5	1759,90	+285,10
сырой клетчатки, г / crude fiber, g	4500,0	4287,5	-212,5	4864,30	+334,30
сахар, г / sugar, g	2000,0	957	-1043	1699,60	+129,60
сырой жир, г / crude fat, g	650,0	880,5	+230,5	558,40	-91,60
кальций, г / calcium, g	134,0	124,95	-9,05	166,52	+18,52
фосфор, г / phosphorus, g	96,0	71,4	-24,6	80,35	-3,65
каротин, мг / carotene, mg	840,0	899,64	+59,65	774,09	+44,09

В таблице 3 представлена питательность культур для производства зернового корма для дойных коров живой массой 600 кг с удоем 26 кг и жирностью 3,9-4,0 %. В предложенной нами зерновой смеси для коррекции хозяйственного рациона сырой протеин оказался ниже на 37,2 г, сахар – выше на 11,13 г, кальций – незначительно выше на 0,06 г, а фосфор составил 0,81 г по сравнению с концентратной дертью основного рациона.

Таблица 3 – Питательность зерновых кормов
Table 3 – Nutritional value of grain feed

Показатель массовой доли, ед. измерения / Mass fraction indicator, unit of measurement	Зерновые корма для корректировки рациона / Grain feeds for dietary adjustments				Дерть (ячмень + пшеница + овес) хозяйственного рациона / barley + wheat + oats of the household ration
	ячмень Омский 100 / Omskiy 100 barley variety	овес Орион / Orion oats variety	горох Омский 19 / Omskiy 19 peas variety	среднее / average	
ЭКЕ / ECE	0,31	0,33	0,30	0,31	0,88
обменная энергия, МДж / exchange energy, MJ	3,13	3,33	3,06	3,17	8,85
влаги, % / moisture, %	62,9	63,7	67,2	64,6	10,65
сухого вещества, г / dry matter, g	0,371	0,363	0,328	0,354	0,893
сырой клетчатки, г / raw fiber, g	20,00	18,43	25,65	21,36	6,96
сырого протеина, г / raw protein, g	70,5	83,1	60,2	71,2	108,4
переваримый протеин, г / digestible protein, g	39,50	58,20	42,70	46,8	81,3
каротин, мг / carotene, mg	0,53	24,50	20,00	15,01	-
сахар, г / sugar, g	2,00	37,00	25,00	21,33	10,2
кальций, г / calcium, g	6,41	4,47	5,09	5,32	5,26
фосфор, г / phosphorus, g	0,92	0,74	0,79	0,81	2,85

Рациональная организация производства продукции в любой отрасли животноводства невозможна без продуманного обоснованного плана кормления. В таблицах 4 и 5 представлен расчёт годовой потребности животных группы «дойные коровы» в кормах и балансирующих добавках.

Таблица 4 – Расчет годовой потребности хозяйственного рациона в кормах и кормовых добавках для дойного стада 600 голов, при плановой продуктивности 26 кг молока на корову
Table 4 – Calculation of the annual requirement for farm ration in feed and feed additives for a dairy herd of 600 heads, with a planned productivity of 26 kg of milk per cow

Корма и кормовые добавки / Feed and feed additives	Требуется заготовить / Required to be prepared		Убыль при заготовке и хранении / Losses during preparation and storage		Страховой фонд / Insurance fund		Требуется заготовить или приобрести / Required to be prepared or purchased
	на голову / per unit of livestock	на все поголовье / for all livestock	%	всего / total	%	всего / total	
силос, ц / silage, c	54,7	32855,0	20,0	6571,0	15,0	4928,2	44354,2
сенаж, ц / hay, c	54,7	32855,0	20,0	6571,0	-	-	39426,0
солома, ц / straw, c	7,3	4380,0	10,0	438,0	-	-	4818,0
капустный лист, ц / cabbage leaf, c	21,9	13140,0	10,0	1314,0	-	-	14454,0
пивная дробина, ц / beer pellet, c	129,2	17520,0	10,0	1752,0	-	-	19272,0
жмых, ц / oilcake, c	7,3	4380,0	1,5	65,7	-	-	4445,7
ячмень, ц / barley, c	10,9	6750,0	0,04	2,7	15,0	1012,5	7765,2
пшеница, ц / wheat, c	3,6	2190,0	1,00	21,9	15,0	328,50	2540,4
овес, ц / oats, c	1,8	1095,0	0,04	0,4	15,0	164,25	1259,6
итого в год / total per year	138335,2						

Таким образом, для дойного стада в хозяйстве, с учетом всех потерь при заготовке и хранении кормов, а также страхового фонда, в год на 600 голов нужно заготовить 138 335,2 ц кормов.

Таблица 5 – Расчёт годовой потребности в кормах и кормовых добавках для дойного стада 600 голов, при плановой продуктивности 26 кг молока на корову
Table 5 – Calculation of the annual requirement for feed and feed additives for a dairy herd of 600 heads, with a planned productivity of 26 kg of milk per cow

Корма и кормовые добавки / Feed and feed additives	Требуется заготовить / Required to be prepared		Убыль при заготовке и хранении / Losses during preparation and storage		Страховой фонд / Insurance fund		Требуется заготовить или приобрести / Required to be prepared or purchased
	на голову / per unit of livestock	на все поголовье / for all livestock	%	всего / total	%	всего / total	
силос, ц / silage, c	54,7	32850,0	20,0	6570,0	15,0	4927,5	44347,5
сенаж, ц / haylage, c	36,5	21900,0	20,0	4380,0	-	-	26280,0
солома, ц / straw, c	7,3	4380,0	10,0	438,0	-	-	4818,0
концентрированный корм (ФГБНУ Омский АНЦ), ц / concentrated feed (Omsk ASC), c	10,9	6750,0	-	-	15,0	1012,5	7762,5
жмых, ц / oilcake, c	3,6	2190,0	1,5	32,8	-	-	2222,8
капустный лист, ц / cabbage leaves, c	21,9	13140,0	10,0	1314,0	-	-	14454,0
итого кормов в год / total feed per year	99 884,85						

Для дойного стада после балансировки рационов, с учетом всех потерь при заготовке и хранении кормов, а также страхового фонда, на 600 голов нужно заготовить 99 884,85 ц кормов в год, что меньше на 38 450,35 ц, чем в хозяйственном варианте.

Выводы. Хозяйственный рацион был представлен силосно-концентратным типом кормления при избытке переваримого протеина на 1 ЭКЕ, что выражалось в нарушении баланса сахаро-протеинового отношения на 0,4 г. После корректировки рациона путем снижения количества концентратов тип кормления изменился на силосно-сенажный при выравнивании баланса отношения сахара к протеину за счет введения в рацион зерновой смеси, представленной культурами: ячмень Омский 100, горох Омский 19, овёс Орион. В предложенной нами зерновой смеси сырой протеин оказался ниже на 37,2 г, сахар – выше на 11,13 г, кальций – незначительно выше на 0,06 г, а фосфор составил 0,81 г по сравнению с концентратной дертью основного рациона. Скорректированный рацион дойных коров был сбалансирован по питательности. Все зоотехнические показатели находились в пределах нормы.

При расчёте годовой потребности в кормах и кормовых добавках для дойного стада животных, с учетом всех убытков при заготовке и хранении кормов, а также страхового фонда, сбалансированные рационы составили 177 658,14 ц в год, что в 1,2 раза меньше, чем в хозяйственном рационе.

Conclusions. The farm diet was based on a silage-concentrate feeding type with an excess of digestible protein per 1 ECE, which resulted in a 0.4 g imbalance in the sugar-to-protein ratio. After adjusting the diet by reducing the number of concentrates, the feeding type changed to a silage-haylage type, and the sugar-to-protein ratio was balanced by adding a grain mixture consisting of Omsk 100 barley, Omsk 19 peas, and Orion oats. In the grain mixture we proposed, crude protein was lower by 37.2 g, sugar was higher by 11.13 g, calcium was slightly higher by 0.06 g, and phosphorus was 0.81 g compared to the concentrate meal of the main diet. The adjusted diet for dairy cows was balanced in terms of nutrition. All zootechnical indicators were within the normal range.

When calculating the annual need for feed and feed additives for the dairy herd, the balanced rations amounted to 177,658.14 kg per year, which is 1.2 times less than the economic ration.

Библиографический список

1. Алимкулов Ж. С. и др. Производство комбикормов для дойных коров на основе эффективного использования кормовой добавки. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2022. Т. 10. № 1. С. 117-123.

2. Петрова М. Ю., Акифьева Г. Е., Косарева Н. А. Зависимость молочной продуктивности коров красной степной породы от сбалансированности рационов. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021. № 4 (61). С. 150-156.

3. Дивенко О. В. Продолжительность хозяйственного использования и молочность коров красной степной породы с учетом кровности по улучшающим породам российской селекции. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 10 (323). С. 70-78.

4. Новикова Н. Н., Косарева Н. А. Биодоступная форма железа. Ветеринария и кормление. 2026. № 7. С. 60-62.

5. Кононец В. В., Ширнина Н. М., Нуржанов Б. С. Влияние подготовки концентрированных кормов на эффективность рационов дойных коров. Вестник КрасГАУ. 2024. № 10 (211). С. 105-112.

6. Калмагамбетов М. Б., Баймуканов А. Д., Скакулы О. Анализ и оптимизация рационов лактирующих коров. Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки. 2020. № 3 (65). С. 40-56.

7. Волгин В. И. и др. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности. Москва, 2018.

8. Анисимова Е. И. Сравнительная эффективность сочных и концентратных рационов для коров симментальской породы. Ветеринария и кормление. 2020. № 1. С. 25-27.

9. Воронова И. В., Игнатьева Н. Л., Немцева Е. Ю. Современные аспекты кормления молочных коров. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С. 164-169.

10. Bach A., Calsamiglia S., Stern M. D. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 2005. V. 88. Pp. 9-21.

11. Ratika Kh., James Singh R. K., Dahiya S. S. Methionine, Lysine and Choline in Dairy Cows: the Review Article. International J. of Current Microbiology and Applied Sci. 2018. V. 7. Pp. 3921-3934.

12. Петрова М. Ю., Новикова Н. Н., Косарева Н. А. Увеличение продуктивного долголетия красной степной породы крупного рогатого скота. Вестник КрасГАУ. 2021. № 4 (169). С. 93-98.

13. Тимохин А. Ю., Бойко В. С., Михайлов В. В. Продуктивность и качество однолетних бобово-мятликовых трав в южной лесостепи Западной Сибири. Кормопроизводство. 2023. № 3. С. 3-6.

14. Николаев П. Н., Юсова О. А. Перспективные двурядные пленчатые сорта для повышения урожайности и качества зерна ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 303-312.

References

1. Alimkulov Zh. S. et al. Production of compound feed for dairy cows based on the effective use of feed additive. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2022. V. 10. No. 1. Pp. 117-123.

2. Petrova M. Yu., Akifieva G. E., Kosareva N. A. Dependence of the milk productivity of red steppe cows on the balance of diets. Proceedings of the NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2021. No. 4 (61). Pp. 150-156.

3. Divenko O. V. Duration of Economic Use and Milk Production of Red Steppe Cows, Taking into Account Bloodlines of Improving Russian Breeding. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2025. V. 55. No. 10 (323). Pp. 70-78.
4. Novikova N. N., Kosareva N. A. The bioavailable form of iron. Veterinary Medicine and Feeding. 2026. No. 7. Pp. 60-62.
5. Kononets V. V., Shirnina N. M., Nurzhanov B. S. Influence of preparation of concentrated feed on the efficiency of rations of dairy cows. Bulletin of the KrasSAU. 2024. No. 10 (211). Pp. 105-112.
6. Kalmagambetov M. B., Baimukanov A. D., Skakuly O. Analysis and optimization of rations of lactating cows. Bulletin of Tuva State University. Natural and Agricultural Sciences. 2020. No. 3 (65). Pp. 40-56.
7. Volgin V. I. et al. Complete Feeding of Dairy Cattle – the Basis for Realization of Genetic Potential of Productivity. Moscow, 2018.
8. Anisimova E. I. Comparative Effectiveness of Juicy and Concentrate Diets for Simmental Cows. Veterinary Medicine and Feeding. 2020. No. 1. Pp. 25-27.
9. Voronova I. V., Ignatieva N. L., Nemtseva E. Yu. Modern aspects of feeding dairy cows. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2021. No. 1. Pp. 164-169.
10. Bach A., Calsamiglia S., Stern M. D. Nitrogen metabolism in the rumen. J. Dairy Sci. 2005. V. 88. Pp. 9-21.
11. Ratika Kh., James Singh R. K., Dahiya S. S. Methionine, Lysine and Choline in Dairy Cows: the Review Article. International J. of Current Microbiology and Applied Sci. 2018. V. 7. Pp. 3921-3934.
12. Petrova M. Yu., Novikova N. N., Kosareva N. A. Increase in the productive longevity of the Red Steppe cattle breed. Bulletin of the KrasSAU. 2021. No. 4 (169). Pp. 93-98.
13. Timokhin A. Yu., Boyko V. S., Mikhailov V. V. Productivity and quality of annual legume-grass mixtures in the southern forest-steppe of Western Siberia. Fodder Production. 2023. No. 3. Pp. 3-6.
14. Nikolaev P. N., Yusova O. A. Promising two-row hulled varieties for increasing the yield and quality of barley grain in the southern forest-steppe of Western Siberia. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Animal Husbandry. 2021. Vol. 16. No. 4. Pp. 303-312.

Информация об авторах
Косарева Наталья Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 644001, г. Омск, ул. Лермонтова, 93), e-mail: dnatasha1991@mail.ru
Новикова Наталья Николаевна, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 644001, г. Омск, ул. Лермонтова, 93), ORCID: 0000-0002-7100-213X89507963385, e-mail: novnik00@mail.ru
Authors' Information
Kosareva Natalia Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Omsk Agricultural Research Center (Russian Federation, 644001, Omsk, Lermontov Str., 93), e-mail: dnatasha1991@mail.ru
Novikova Natalia Nikolaevna, Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher, Omsk Agricultural Research Center (Russian Federation, 644001, Omsk, Lermontov Str., 93), ORCID: 0000-0002-7100-213X89507963385, e-mail: novnik00@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-48

THE RECORD-BREAKING RED BREED COWS IN THE OMSK REGION CONDITIONS

Petrova M. Yu., Novikova N. N., Kosareva N. A.

Omsk Agrarian Scientific Center
Omsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: dnatasha1991@mail.ru

Received 15.12.2025 Submitted 26.03.2026

The research was conducted as part of the research project on topic FNUN-2025-0007: Develop an effective system for ensuring food and biological security based on the creation of new biological products for the diagnosis and prevention of socially significant animal diseases, optimization of feed production technologies and analysis of breeding selection.

Summary
The article presents data on the creation of groups of record-breaking cows of the Red Steppe breed, improved by the Holstein breed of red variegated color and Angler in terms of quantitative indicators of milk productivity, where the first high milk yield was repeated in subsequent lactations while maintaining the highest percentage of fat and protein, which is of particular importance for obtaining domestically bred bulls.

Abstract
Introduction. In the Omsk region, the Red Steppe cattle breed is the most numerous compared to others. It stands out for its versatility, combining both dairy and beef productivity and possessing a high adaptability to external factors. To increase productivity, it is crossed with other breeds, such as the Angler and Red-and-White Holstein. When conducting breeding work to improve breed qualities, it is necessary to use cows with outstanding productivity indicators. **Object.** Red Steppe cows, improved Holstein red-and-white color and Angler. The breeding groups had milk productivity over 305 days of lactation 20 % higher than the herd average. They were divided into six groups: the first control group (n=62) represented conditionally purebred Red Steppe cows. The second and third bloodlines were of the Angler improving breed, n=9 – 50 %, n=10 – 75 %. In the fourth, fifth and sixth groups, cows with Holstein improving breed blood were: n=37 – 25 %, n=9 – 50 % and n=31 – 75 %. **Materials and methods.** Milk productivity was assessed by

the main and associated selection traits: milk yield, fat and protein content, amount of milk fat and protein, lactation stability coefficient for 305 days. The dependence of maximum milk yield on the first lactation was studied on 977 cows without taking into account blood. The animals were divided into groups based on their lactation productivity in kg: 4001-5000, 5001-6000, 6001-7000, 7001-8000, 8001-9000, 9001-10000, 10000 and above. The groups were used to study the maximum indicators for 305 days of lactation: lactation number, milk yield (kg), milk fat (%), and milk protein (%). The analysis of the transferability of outstanding productivity indicators to the offspring obtained from 7 record-breaking cows of varying Holstein bloodlines from 75 % to 7 % was determined by the stability of the lactation stability coefficient for 305 days. **Results and conclusions.** Holsteinized cows with 50 % and 75 % bloodline had higher milk yields, with the highest fat percentage (4.03) observed in purebred Red Steppe cows, while protein percentage was consistent across all groups. High first-lactation milk yields of 7,001-8,000 kg were observed in the third lactation, while with milk yields ranging from 9,001 to 10,000 kg, cows achieved record milk yields exceeding 10,000 kg in the second lactation, maintaining this level several times. It has been reliably proven that despite record milk yields in the first and second lactations, the lactation curve leveling out reliably only occurs in the third. Our results can be applied to breeding red steppe cattle to create highly productive animals, and record-breaking cows can serve as mothers for domestically bred bulls. We plan to continue our research, analyzing the occurrence of record-breaking milk yields in daughters of record-breaking cows and the relationship between the record-breaking milk yields of daughter cows and the sires of the bulls.

Keywords: *dairy cattle breeds, high-yielding cows, red cattle breeds, record-breaking cows, dairy cattle housing conditions.*

Citation. Petrova M. Yu., Novikova N. N., Kosareva N. A. The record-breaking red breed cows in the Omsk region conditions. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 432-441 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-48.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 636.2.082(571.13)

КОРОВЫ-РЕКОРДИСТКИ КРАСНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Петрова М. Ю., *кандидат сельскохозяйственных наук*
Новикова Н. Н., *кандидат ветеринарных наук*
Косарева Н. А., *кандидат сельскохозяйственных наук*

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»
г. Омск, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках выполнения научно-исследовательской работы по теме FNUN-2025-0007: Разработать эффективную систему обеспечения продовольственной и биологической безопасности на основе создания новых биологических препаратов для диагностики и профилактики социально значимых болезней животных, оптимизации технологий кормопроизводства и анализа селекции племенного дела.

Актуальность. В Омской области красная степная порода крупного рогатого скота является наиболее многочисленной по сравнению с другими. Она выделяется своей универсальностью, сочетая в себе как молочную, так и мясную продуктивность и обладает высокой адаптацией к внешним факторам. Для увеличения продуктивных показателей ее скрещивают с другими породами, такими как англерская и красно-пестрая голштинская. При проведении селекционной работы по улучшению породных качеств, необходимо использовать коров с выдающимися показателями продуктивности. **Объект.** Коровы красной степной породы, улучшенные голштинской породой (красной пестрой масти), и англерской. Селекционные группы имели молочную продуктивность за 305 дней лактации на 20 % выше средней по стаду; их разделили на шесть групп: первая группа (контрольная n = 62) представлена условно чистопородными красными степными коровами. Вторая и третья кровность по англерской улучшающей породе: n = 9 – 50 %, n = 10 – 75 %. В четвертой, пятой и шестой группах коровы с кровностью по голштинской улучшающей породой – n = 37 – 25 %, n = 9 – 50 % и n = 31 – 75 %. **Материалы и методы.** Молочную продуктивность оценивали по основным и сопутствующим селекционным признакам: удой, содержание жира и белка, количество молочного жира и белка, коэффициент устойчивости лактации за 305 дней. Зависимость максимального удоя от первой лактации изучали на 977 коровах без учета кровности. Животных разделили на группы по показателю продуктивности за 1 лактацию в кг: 4001-5000, 5001-6000, 6001-7000, 7001-8000, 8001-9000, 9001-10000, 10000 и более в которых изучали максимальные показатели за 305 дней лактации: номер лактации, удой (кг), молочный жир (%), молочный белок (%). Анализ передачи способности выдающихся продуктивных показателей потомству, полученному от 7 коров-рекордисток разной кровности по голштинской породе от 75 % до 7 % определяли по стабильности коэффициента устойчивости лактации за 305 дней. **Результаты и выводы.**

Голштинизированные коровы с 50 % и 75 % кровностью имели повышенные показатели по удою, а наивысший процент жира (4,03 %) отмечен у чистопородных красных степных; при этом процент белка у всех групп был на одном уровне. При высоком удое за первую лактацию 7001-8000 кг его повторение наблюдали в 3-ю лактацию, тогда как при удое от 9001 до 10000 кг молока коровы показывали рекордный удой выше 10 000 кг уже за 2-ю лактацию, сохраняя этот показатель несколько раз. Достоверно доказано, что, несмотря на рекордные показатели удоя в первую и вторую лактации, показатель уровня лактационной кривой достоверно выравнивается только в третью. Полученные нами результаты могут применяться в селекционно-племенной работе с красным степным скотом для создания высокопродуктивных животных, а коровы-рекордистки могут быть матерями для получения быков-производителей отечественной селекции. Планируем продолжить наши исследования: проанализировать наличие рекордных удоев у дочерей коров-рекордисток и зависимость рекордных удоев коров-дочерей от быков-отцов.

Ключевые слова: *породы молочного скота, высокоудойные коровы, красные породы КРС, коровы-рекордистки, условия содержания молочного скота.*

Цитирование. Петрова М. Ю., Новикова Н. Н., Косарева Н. А. Коровы-рекордистки красных пород в условиях Омской области. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 432-441. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-48.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В России молочное скотоводство является одной из ключевых отраслей сельского хозяйства, имеющей большое социальное значение. Увеличение объемов производства молока – это приоритетная задача для всего агропромышленного комплекса. Основным инструментом для достижения этой цели остается совершенствование племенных и продуктивных характеристик отечественных молочных пород. В последнее время все большее внимание уделяется разведению молочных пород скота. Качественное развитие и формирование высокопродуктивного стада является основной задачей селекционеров. Животноводство способствует стабильному росту генетического потенциала, повышению продуктивности и улучшению качества продукции. Основная цель планирования животноводства – наметить эффективные пути скорейшего улучшения стад за счет их совершенствования. Кроме того, животные, отобранные для дальнейшего разведения, должны быть лучшими в стаде с точки зрения их происхождения и молочной продуктивности. По мнению ряда исследователей, происхождение молочных коров влияет на эффективность племенного дела и молочную продуктивность [1-3].

Омская область, расположенная в Западной Сибири, традиционно опиралась на молочное животноводство, как на ведущую отрасль сельского хозяйства. Однако, обретенная хозяйственная независимость дала руководителям аграрных предприятий возможность пересматривать приоритеты. В результате, растениеводство выходит на первый план, что приводит к сокращению площадей под кормовые культуры, что в свою очередь, негативно сказывается на животноводстве, потому крайне важно ускорить развитие существующих высокопродуктивных пород скота и работать над улучшением их характеристик [4-6].

Красная степная порода выделяется своей универсальностью, сочетая в себе как молочную, так и мясную продуктивность. Несмотря на свои уникальные качества, красная степная порода нуждается в дальнейшем совершенствовании путем скрещивания с другими породами, такими как англерская и красно-пестрая голштинская. При работе над улучшением молочных и молочно-мясных пород крупного рогатого скота всегда уделяется особое внимание использованию коров с выдающимися показателями продуктивности [8, 9].

По мнению ученых как отечественных, так и зарубежных, присутствие в стаде коров-рекордисток иллюстрирует результат селекционно-племенной работы в молочном животноводстве. Высокопродуктивные коровы являются достижением в племенной работе и выступают как определенный показатель генетического потенциала породы – это основа экономической эффективности и конкурентоспособности любого сельскохозяйственного предприятия. Чем больше в родословной высокопродуктивных предков, тем больше шансов получить высокоценное потомство [10, 11].

Наличие в стаде коров рекордисток свидетельствует о целенаправленной системе выращивания молодняка и своевременном раздое, а также показывает уровень продуктивно-племенных качеств породы на данном этапе развития и дает возможности для дальнейшего совершенствования породы. Высокие удои являются индикатором генетического

потенциала породы, но наибольшую ценность представляют коровы, которые не только дают много молока, но и способны устойчиво передавать это качество потомству. Селекционная работа с породой заключается в изучении и закреплении признаков, присущих выдающимся коровам-рекордисткам. Успех селекции в стаде подтверждается наличием в нем большого количества высокопродуктивных животных [12].

Цель исследований: изучить факторы, оказывающие влияние на рекордные удои и выделить группу коров с повторяющимися рекордными показателями продуктивности.

Материалы и методы. В работе использованы данные зоотехнического и племенного учета товарного хозяйства Омской области по разведению крупного рогатого скота молочного направления продуктивности: красной степной породы, улучшенной голштинской породой (красной пестрой масти), и англерской породой – 1372 головы.

Коров-рекордисток отбирали по следующим критериям: высокая молочная продуктивность с учётом средней продуктивности за все лактации с выходом молочного жира и белка; наличие данных о происхождении не менее чем по трём рядам предков, принадлежащих к высокопродуктивному семейству перспективной линии; крепкая конституция и экстерьер с оценкой не ниже 8 баллов; чашеобразная или ваннообразная форма вымени; интенсивность молокоотдачи – 1,8-2,0 кг/мин; живая масса – 650 кг; возраст от 3 до 6 отелов; достоверность происхождения по группам крови.

Отобранные по принципу сплошной выборки коровы родились в 2018-2021 гг. Коровы селекционной группы имели молочную продуктивность за 305 дней лактации на 20 % выше средней по стаду их условно разделили на шесть групп. Первая группа n = 62 представлена чистопородными красными степными коровами. Вторая и третья – красные степные коровы с кровностью по англерской улучшающей породе: n = 9-50 %, n = 10-75 %. В четвертой, пятой и шестой группах коровы с кровностью по голштинской улучшающей породе: n = 37-25 %, n = 9-50 % и n = 31-75 %.

Молочную продуктивность оценивали по основным и сопутствующим селекционным признакам: удой, содержание жира и белка, количество молочного жира и белка, коэффициент устойчивости лактации за 305 дней.

Зависимость максимального удоя от первой лактации изучали на 977 коровах без учета кровности. Животных разделили на группы по показателю продуктивности за 1 лактацию в кг: 4001-5000, 5001-6000, 6001-7000, 7001-8000, 8001-9000, 9001-10 000, 10 000 и более в которых изучали максимальные показатели за 305 дней лактации: номер лактации, удой (кг), молочный жир (%), молочный белок (%).

Анализ передающей способности выдающихся продуктивных показателей потомству, полученному от 7 коров-рекордисток с разной кровностью по голштинской породе от 75 % до 7 % определяли по стабильности коэффициента устойчивости лактации за 305 дней.

Исследовательскую базу формировали с использованием данных информационно-аналитической системы «Селэкс – молочный скот».

Статистическая и биометрическая обработка данных проводилась с использованием программы «Статистика» по Т-критерию Стьюдента.

Результаты. Для создания групп коров-рекордисток из 1372 голов были выделены 158 голов, имеющих продуктивность на 20 % выше средней по стаду коров с разной кровностью по улучшающей породе. Группы представлены породами: чистопородной красной степной – 62 головы, 19 голов англерской и 77 голов голштинской в соответствии с кровностью (таблица 1). Внутри каждой группы животных разделили по проценту кровности улучшающей породе 25, 50 и 75.

В результате получили данные о том, что коровы 75 % кровности по голштинской породе позволяют получать молока на 407 кг больше по сравнению с красной степной породой и на 295,55 кг – 75 % англеризированной. Процент молочного жира выше у красной степной породы на 0,1 % и белка 0,01 %, а с англерской породой они одинаковые.

Таким образом, определили, что данное хозяйство выбрало путь повышения молочной продуктивности за счет увеличения кровности по голштинской породе с максимальными показателями по удою, в тоже время продолжает поддерживать красную степную породу, у которой определили наивысший процент жира 4,03 %.

Таблица 1 – Продуктивность коров селекционной группы в зависимости от кровности по улучшающим породам в сравнении с исходной (X ± m)
Table 1 – Productivity of cows in the selection group, depending on the bloodline of the improving breeds, in comparison with the original breed (X ± m)

Показатель / Indicator	Процент кровности по улучшающей породе / Blood percentage of the improving breed					
	красная степная / red steppe cattle breed	англеры / Anglers		голштины / Holsteiners		
		50	75	25	50	75
количество голов, n / number of cattle, n	62	9	10	37	9	31
удой за 305 дней, кг / yield for 305 days, kg	7713,10 ± 335,411	7825,21 ± 347,641	7869,13 ± 224,410	7939,49 ± 287,41	8037,44 ± 566,28	8120,76 ± 152,320
молочный жир, % / milk fat, %	4,03 ± 0,031	3,92 ± 0,040	3,90 ± 0,009	3,91 ± 0,030	3,90 ± 0,040	3,92 ± 0,016
молочный белок, % / milk protein, %	3,32 ± 0,018	3,268 ± 0,010	3,27 ± 0,021	3,29 ± 0,005	3,29 ± 0,009	3,31 ± 0,011

Примечание: средние показатели за все полные лактации 305 дней.
Note: average values for all full lactations of 305 days.

Основным хозяйственно полезным признаком для увеличения пожизненной молочной продуктивности, способствующим сохранению хозяйственного использования коров-рекордисток и их долголетию является раздой первотелок.

Раздой – это комплекс мероприятий, направленных на увеличение объема молока в первый период лактации, за счет повышения дневных надоев, которые в дальнейшем влияют на долгосрочную продуктивность животных, основан на физиологических особенностях каждой конкретной коровы и требует сбалансированного кормления, применения методик доения, создание благоприятных условий содержания и ухода.

Неправильно организованный раздой может привести к раннему снижению продуктивности, истощению организма молодых животных и нарушению воспроизводительной функции, яловости коров, а также снижению здоровья и общей резистентности организма.

В нашем исследовании мы изучили зависимость максимального удоя от первой лактации и как он изменился в течение продуктивной жизни коров. Для этого мы разделили 977 коров без учета кровности по показателю продуктивности за 1-ю лактацию (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость максимального удоя от первой лактации
Table 2 – Dependence of the maximum milk yield on the first lactation

Продуктивность за 1 лактацию, кг / Productivity per lactation, kg	Количество голов / Number of cattle		Максимальные показатели за 305 дней лактации / Maximum values for 305 days of lactation			
	1-я лактация / 1 lactation	максимальная лактация / maximum lactation	№ лактации / lactation number	удой, кг / yield, kg	молочный жир, % / milk fat, %	молочный белок, % / milk protein, %
4001-5000	35	16	5-3	7513,00 ± 38,330	4,03 ± 0,034	3,30 ± 0,190
5001-6000	140	9	7-5	8477,22 ± 265,650	3,92 ± 0,020	3,28 ± 0,040
6001-7000	239	25	6-4	8830,88 ± 193,81	3,89 ± 0,019	3,28 ± 0,011
7001-8000	299	60	5-3	10003,00 ± 157,560	3,83 ± 0,014	3,25 ± 0,007
8001-9000	185	72	4-2	10073,00 ± 108,36	3,82 ± 0,013	3,26 ± 0,006
9001-10000 и более	79	29	3-2	10978,00 ± 323,051	3,77 ± 0,049	3,25 ± 0,017

В результате получили данные, что первотелки с удоем 4001-5000 кг давали максимальные показатели продуктивности 7513 кг, начиная с 3 лактации, повторяя до 5 лактации, что составило 45 % от 35 голов исследованных в этой группе, при максимальном количестве молочного жира 4,03 % и белка 3,3 %.

Увеличение удоя от 5001до 6000 кг позволило получить 8477,22 кг молока за 5-ю и 7-ю лактацию, только у 6,4 % коров от 140 голов с понижением жирности до 3,92 % и белковости 3,28 %.

У группы с удоем по первой лактации 6001-7000 кг молока количество повторений максимальных лактаций снизилось на единицу по сравнению с предыдущими (4 и 6) при увеличении его количества до 8830 кг. Повторяемость признака наблюдали у 10,4 % от 239 исследуемых голов. Процентное количество жира и белка снижается до 3,89 % и 3,28 %.

Самая многочисленная группа 7001-8000 кг продолжает снижать количество пожизненных лактаций на единицу от 5 до 3 при повышении удоя до 10003 кг и процента повторяемости 20,0 % от 299 голов и снижении процента жира и белка до 3,83 % и 3,25 %.

Количество животных в группе 8001-9000 кг по сравнению с предыдущей снизилось на 114 голов, удой повысился до 10073 кг, а процент повторяемости признака увеличился до 38,9 %. Тенденция снижения на единицу максимальной лактации продолжает сохраняться во 2-4 лактации, а также наблюдается снижение процента жира до 3,82 % и небольшое повышение белка до 3,26 %.

Высокоудойные животные по первой лактации в группе 9001-10000 кг и более смогли повторить показатель только на 2-й и 3-й лактациях у 36,7 % от 79 исследуемых голов, понизив содержание жира до 3,77 % и белка 3,25 %.

В результате полученных исследований можно сделать вывод о том, что при высоком удое за первую лактацию 7001-8000 его повторение наблюдали в 3-ю лактацию, тогда как при удое от 9001 до 10000 кг молока, коровы показывали рекордный удой выше 10000 кг уже за 2-ю лактацию, сохраняя этот показатель несколько раз.

Коровы, характеризующиеся рекордной молочной продуктивностью, уже сами по себе служат определенным показателем генетического потенциала стада. Они всегда вызывали и вызывают огромный и вполне закономерный интерес со стороны практиков селекционеров, ученых.

В селекционно-племенной работе с молочным скотом важное место занимает получение, выращивание, эксплуатация высокопродуктивных коров-рекордисток. Их наличие в любом стаде свидетельствует о высокой культуре ведения племенной отрасли. Наличие коров с рекордными удоями выше 10000 кг молока в хозяйстве говорит о потенциальных возможностях красной степной породы. Основная масса рекордисток проявила максимальную продуктивность во 2-4 лактации, что подтверждает целесообразность использования животных с высоким потенциалом продуктивности.

Отбор по уровню продуктивности позволил выбрать семь коров красной степной породы из них: 3 головы улучшены англерской породой и 4 головы голштинской с повторяющимися несколько раз рекордными показателями. Наблюдения показали, что многие коровы повторяют рекордный удой по несколько раз (таблица 3).

Таблица 3 – Доля кровности по улучшающим породам у коров-рекордисток красной степной породы № коровы

Table 3 – Bloodline percentage of the record-breaking cows Red Steppe breed

№		Кровность по улучшающим породам / Bloodlines of Improving breeds			
п/п / №	коровы / cows	1-я порода / the first breed	%	2-я порода / the second breed	%
1	5016	кр/пестр.голштинская / Red-and-white Holstein breed	75	англерская / Angler breed	13
2	6462	кр/пестр.голштинская / Red-and-white Holstein breed	57	англерская / Angler breed	32
3	5022	кр/пестр.голштинская Red-and-white Holstein breed	50	англерская / Angler breed	38
4	7240	кр/пестр.голштинская / Red-and-white Holstein breed	32	англерская / Angler breed	57
5	7108	кр/пестр.голштинская / Red-and-white Holstein breed	25	англерская / Angler breed	50
6	6400	кр/пестр.голштинская / Red-and-white Holstein breed	19	англерская / Angler breed	13
7	6134	кр/пестр.голштинская / Red-and-white Holstein breed	7	англерская / Angler breed	19

Из таблицы 3 видно, что животные выбраны по принципу уменьшения доли голштинской крови с 75 % до 7 %, а также повышение англерской с 13 % до 57 %. У данных животных мы проанализировали повторяемость рекордных показателей по удою (таблица 4).

Таблица 4 – Повторяемость рекордных показателей
Table 4 – Reproducibility of record-breaking indicators

№		Удой по лактациям / Milk yield by lactation					Средний КУЛ, % / Average LSC, %
п/п / №	коровы / № cows	1	2	3	4	5	
1	5016	7089	8524	9939	9825	10987	92,0 ± 1,816
2	6462	7586	8250	10308	11177	11235	93,0 ± 1,581
3	5022	7668	9002	8497	10565		97,2 ± 7,261
4	7240	7258	9017	9736	11074		99,5 ± 3,593
5	7108	7820	10528	12570	13244		98,0 ± 2,857
6	6400	7087	9176	10080	11522		99,5 ± 4,663
7	6134	7225	8688	10152	10588		103,0 ± 12,988
средний показатель по группе / the average for the group		***7390,42 ± 112,08	**9026,42 ± 278,07	10183,14 ± 458,43	11142,14 ± 406,582	11111 ± 124,00	

Примечание: КУЛ – коэффициент устойчивости лактации; **p ≤ 0,001;*** p ≤ 0,0001.
Note: LSC – lactation stability coefficient; **p≤0.001;*** p≤0.0001.

Первая корова с высокой кровностью по голштинской породе максимальный удой проявила в 5-ю лактацию 10987 кг, вторая в 3-ю лактацию 10308 кг с увеличением показателя в последующие лактации до 11235 кг. Средний коэффициент устойчивости лактации был высоким 92,0-93,0 %, но приближен к нижней границе.

У третьей коровы с 50 % кровностью по голштинам и улучшением по англерской породе 38 % максимальный показатель удоя был в последнюю 4-ю лактацию 10565 кг. Средний коэффициент устойчивости лактации 97,2 %, что говорит о стабильности передающегося показателя.

Четвертая корова с 57 % кровностью по второй улучшающей англерской породе показала лучший удой по сравнению с третьей начиная с 3-й лактации на 1239 кг, а в 4-й лактации разница сократилась на 509 кг. Средний коэффициент устойчивости лактации 99,5 % говорит о стабильности показателя.

Пятая корова с кровностью по второй англерской породе 50 % уже за 2-ю лактацию показала рекордный удой в 10528 кг, который в последнюю 4-ю лактацию увеличился на 2716 кг. Средний коэффициент устойчивости лактации 98,0 % подтверждает эти данные.

Шестая и седьмая коровы с низкой кровностью по улучшающим породам показали, удой выше 10000 кг начиная с 3-й лактации, который повысился в 4-ю последнюю лактацию у шестой коровы на 1442 кг, а у седьмой коровы на 436 кг. У этих животных самый высокий средний коэффициент устойчивости лактации 99,5 % и 103 %.

Так у высокопродуктивных коров с выраженными высокими удоями коэффициент устойчивости лактации составляет от 90 до 99 %. В нашем случае все коровы таблицы 3 относятся к высокопродуктивным, с выраженными высокими удоями (коэффициент устойчивости лактации – от 92,0 % до 99,8 %).

Достоверность полученных результатов о повторяемости рекордных показателей удоя два раза и более проверяли по t-критерию Стьюдента. Разницу показателей считали, достоверной по значимым различиям от средних показателей группы животных за четвертую лактацию, когда у всех животных группы наблюдали максимальный удой. При этом определили достоверный диапазон первой и второй лактаций p ≤ 0,001. Также проверяли достоверность полученных показателей по t-критерию Стьюдента в отношении коэффициента устойчивости лактации (КУЛ), за контроль принимали максимальный КУЛ по группе коров из таблицы 3, в результате определили, что только по третьей лактации имеется доверительный интервал p ≤ 0,05. Таким образом, можно сделать вывод о том, что, несмотря на достоверные рекордные показатели удоя в первую и вторую лактации, показатель уровня лактационной кривой достоверно выравнивается только в третью.

Обсуждение. В наших исследованиях на поголовье красного степного скота разной кровности по улучшающим породам было установлено, что повышенные показатели по удою получены при увеличении кровности по голштинской породе до 75 %, что согласуется с данными Хромовой О. Л. (2023), которая изучала поголовье черно-пестрой породы и установила, что преобладающее число коров-рекордисток относится к линиям голштинской селекции и имеет степень кровности по голштинской породе 87 % и выше. По данным Дивенко О. В. (2025), сочетание кровности красного степного скота по англерской породе до 50 % и по голштинской – 13-25 %, эффективно сказывается на увеличении пожизненного удоя в 1,7-3,4 раза, а также по показателям выхода молочного жира и белка. В наших исследованиях показано, что кровность от 50 до 75 % по голштинской породе позволяет получать на 407 кг больше молока по сравнению с красной степной породой и на 295,55 кг – 75 % англеризированной, наибольший процент молочного жира был выше у красной степной породы на 0,1 % и белка на 0,01 %.

В изучении показателей молочной продуктивности коров-дочерей черно-пестрой породы в зависимости от наивысшего удоя их матерей Чеченихина О. С. (2020), установила, что удой коров-матерей был в пределах от 8001 до 9000 кг молока и повторялся у потомства. В поголовье красного скота нами установлено, что коровы с удоем 10000 кг молока и более играют исключительную роль в обеспечении стада ремонтным молодняком с высоким генетическим потенциалом. При удое за первую лактацию от 9001 до 10000 кг молока коровы показывают рекордный удой выше 10000 кг уже за 2-ю лактацию, повторяя этот результат несколько раз, что также согласуется с данными ряда авторов: Падерина Р. В. (2022), Давыдова А. С. (2022), Часовщикова М. А. (2025).

Наш вывод о том, что несмотря на достоверные рекордные показатели удоя в первую и вторую лактации, показатель уровня лактационной кривой достоверно выравнивается только в третью, подтверждает данные Филинской О. В. (2017).

Заключение. В результате проведенного анализа было установлено влияние первой лактации на максимальный удой коров-рекордисток по продуктивности за 305 дней лактации с учетом кровности по улучшающим породам. Повышенные показатели по удою получили у голштинизированных коров с 50 % и 75 % кровностью и наивысшим процентом жира 4,03 у чистопородных красных степных, при этом процент белка у всех групп был на одном уровне.

Определены хозяйственно полезные признаки и продуктивные факторы, влияющие на них, а также способность давать определенное количество продукции за период времени. При высоком удое за первую лактацию 7001-8000 кг его повторение наблюдали в 3-ю лактацию, тогда как при удое от 9001 до 10000 кг молока коровы показывали рекордный удой выше 10000 кг уже за 2-ю лактацию, сохраняя этот показатель несколько раз.

Достоверно доказано, что, несмотря на рекордные показатели удоя в первую и вторую лактации, показатель уровня лактационной кривой достоверно выравнивается только в третью.

Эффективное использование коров с рекордной продуктивностью способствует улучшению генеалогической структуры стада и породы, накоплению ценного генетического потенциала в последующих поколениях, повышает шансы на получение еще более высокопродуктивных и ценных в племенном отношении животных. Полученные нами результаты могут применяться в селекционно-племенной работе с красным степным скотом для создания высокопродуктивных животных, а коровы-рекордистки могут быть матерями для получения быков-производителей отечественной селекции. Планируем продолжить наши исследования, проанализировать наличие рекордных удоев у дочерей коров-рекордисток и зависимость рекордных удоев коров-дочерей от быков-отцов.

Conclusion. The analysis revealed the influence of the first lactation on the maximum milk yield of record-breaking cows over 305 days of lactation, taking into account the bloodlines of improving breeds. Higher milk yields were achieved in Holsteinized cows with 50 % and 75 % bloodlines, and the highest fat percentage (4.03) was found in purebred Red Steppe cows, while protein percentage was consistent across all groups.

Agriculturally beneficial traits and the productivity factors influencing them were identified, as well as the ability to produce a specific amount of milk over a period of time. High first-lactation milk yields of 7,001-8,000 kg were repeated in the third lactation, while those with milk yields ranging from 9,001 to 10,000 kg demonstrated record milk yields exceeding 10,000 kg by the second lactation, maintaining this level several times. It has been reliably proven that despite record milk yields in the first and second lactations, the lactation curve leveling out reliably only occurs in the third.

Efficient use of record-breaking cows contributes to improving the genealogical structure of the herd and breed, accumulating valuable genetic potential in subsequent generations, and increasing the chances of producing even more productive and valuable animals for breeding. Our results can be applied in breeding Red Steppe cattle to create highly productive animals, and record-breaking cows can serve as mothers for domestically bred sires. We plan to continue our research, analyzing the occurrence of record-breaking milk yields in daughters of record-breaking cows and the relationship between the record-breaking milk yields of daughter cows and the sires' bulls.

Библиографический список

1. Тяпугин С. Е., Герасимова Е. В., Мышкина М. С. и др. Современное состояние молочного скотоводства России. Молочное и мясное скотоводство. 2025. № 3. С. 7-11.
2. Акифьева Г. Е., Новикова Н. Н. Анализ избытка питательных веществ в рационе лактирующих коров при разных способах содержания. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2021. № 4 (189). С. 4-11.
3. Петрова М. Ю., Новикова Н. Н., Косарева Н. А. Увеличение продуктивного долголетия красной степной породы крупного рогатого скота. Вестник КрасГАУ. 2021. № 4 (169). С. 93-98.
4. Шамин А. Е., Павлова О. А., Борисова Т. Ю. и др. Состояние сельскохозяйственных земель в России как проблема обеспечения продовольственной безопасности страны. Вестник НГИЭИ. 2020. № 10 (113). С. 98-107.
5. Ковалева И. В., Кудинова М. Г. Устойчивое развитие молочного и мясного скотоводства в Алтайском крае: оценка и перспективы. Молочное и мясное скотоводство. 2024. № 2. С. 48-53.
6. Петрова М. Ю. Состояние племенного животноводства Омской области. Вестник КрасГАУ. 2025. № 2 (215). С. 132-139.
7. Дивенко О. В. Продолжительность хозяйственного использования и молочность коров красной степной породы с учетом кровности по улучшающим породам Российской селекции. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 10 (323). С. 70-78.
8. Rincón J. F. Estimation of genetic and phenotypic parameters for production traits in Holstein and Jersey from Colombia. Rev. MVZ Córdoba. 2015. V. 20. Pp. 4962-4973.
9. Wiggans G. R. Calculation and use of inbreeding coefficients for genetic evaluation of United States dairy cattle. J. Dairy Sci. 2018. V. 78. Pp. 1584-1590.
10. Чеченихина О. С. Показатели молочной продуктивности коров-дочерей в зависимости от наивысшего удоя их матерей. Животноводство и кормопроизводство. 2020. № 3. Т. 103. С. 165-176.
11. Часовщикова М. А. Хозяйственные особенности коров голштинской породы разного уровня молочной продуктивности. Главный зоотехник. 2025. № 2 (259). С. 39-49.
12. Падерина Р. В., Виноградова Н. Д. Эффективность селекции высокопродуктивных молочных коров. Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2022. № 3. С. 84-87.

References

1. Tyapugin S. E., Gerasimova E. V., Myshkina M. S., et al. The current state of dairy cattle breeding in Russia. Dairy and Meat Cattle Breeding. 2025. No. 3. Pp. 7-11.
2. Akifyeva G. E., Novikova N. N. Analysis of excess nutrients in the diet of lactating cows under different housing conditions. Feeding of Farm Animals and Feed Production. 2021. No. 4 (189). Pp. 4-11.
3. Petrov M. Yu., Novikova N. N., Kosareva N. A. Increase in the productive longevity of the red steppe breed of cattle. Proceedings of the KrasSAU. 2021. No. 4 (169). Pp. 93-98.
4. Shamin A. E., Pavlova O. A., Borisova T. Yu., et al. The state of agricultural land in Russia as a problem of ensuring the country's food security. Proceedings of the NGIEI. 2020. No. 10 (113). Pp. 98-107.
5. Kovaleva I. V., Kudinova M. G. Sustainable development of dairy and beef cattle breeding in the Altai Territory: assessment and prospects. Dairy and beef cattle breeding. 2024. No. 2. Pp. 48-53.
6. Petrova M. Yu. The state of breeding animal husbandry in the Omsk Region. Proceedings of the KrasGAU. 2025. No. 2 (215). Pp. 132-139.
7. Divenko O. V. Duration of Economic Use and Milk Production of Red Steppe Cows, Taking into Account Bloodlines of Improving Russian Breeding. Siberian Bulletin of Agricultural Science. 2025. V. 55. No. 10 (323). Pp. 70-78.
8. Rincón J. F. Estimation of genetic and phenotypic parameters for production traits in Holstein and Jersey from Colombia. Rev. MVZ Córdoba. 2015. V. 20. Pp. 4962-4973.
9. Wiggans G. R. Calculation and use of inbreeding coefficients for genetic evaluation of United States dairy cattle. J. Dairy Sci. 2018. V. 78. Pp. 1584-1590.
10. Chechenikhina O. S. Indicators of the Dairy Productivity of Daughter Cows Depending on the Highest Milk Yield of Their Mothers. Animal Husbandry and Feed Production. 2020. No. 3. V. 103. Pp. 165-176.
11. Chasovshchikova M. A. Economic Features of Holstein Cows with Different Levels of Dairy Productivity. Chief Zootechnician. 2025. No. 2 (259). Pp. 39-49.
12. Paderina R. V., Vinogradova N. D. The Effectiveness of Selection of High-Productive Dairy Cows. Regulatory and Legal Regulation in Veterinary Medicine. 2022. No. 3. Pp. 84-87.

Информация об авторах

Петрова Марина Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 644001, г. Омск, ул. Лермонтова, 93), ORCID: 0000-0002-7100-213X89507963385, e-mail: tihova1@mail.ru
Новикова Наталья Николаевна, кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 644001, г. Омск, ул. Лермонтова, 93), ORCID: 0000-0002-7100-213X89507963385, e-mail: novnik00@mail.ru
Косарева Наталья Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (Российская Федерация, 644001, г. Омск, ул. Лермонтова, 93), e-mail: dnatasha1991@mail.u

Authors' Information
Petrova Marina Yúrievna, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Omsk Agrarian Research Center (Russian Federation, 644001, Omsk, Lermontov Street, 93), ORCID: 0000-0002-7100-213X89507963385, e-mail: tihova1@mail.ru
Novikova Natalia Nikolaevna, Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, Omsk Agrarian Research Center (Russian Federation, 644001, Omsk, Lermontov Street, 93), ORCID: 0000-0002-7100-213X89507963385, e-mail: novnik00@mail.ru
Kosareva Natalia Aleksandrovna, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Omsk Agrarian Research Center (Russian Federation, 644001, Omsk, Lermontov Street, 93), e-mail: dnatasha1991@mail.u

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-49

THE NEW FODDER ADDITIVES EFFECT ON THE EDILBAYEVSKAYA BREED SHEEP MEAT CHEMICAL COMPOSITION AND ORGANOLEPTIC PARAMETERS

[1]Abdulkhalikov A. M., [1]Chamurliev N. G., [1]Shperov A. S., [2]Mosolov A. A.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]Volga Region Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: shperov2011@mail.ru

Received 13.04.2026 Submitted 06.05.2026

Abstract

Introduction. The productivity of animals depends on many factors, including proper feeding. The inclusion of various feed additives in sheep diets can have a significant impact on body weight gains, as well as affect the consumer and culinary qualities of mutton. As a source of animal protein, it plays a very important role in human nutrition. The nutritional value of meat depends on the ratio of the various tissues that make up its composition, the most valuable of which are muscle and fat. **Object.** The object of research is feed additives of natural origin - lactulose-containing feed additive "Lactuvet-1" and a by-product of deep processing of corn Isomaltooligosaccharide (IMO). **Materials and methods.** The research was carried out on the livestock of sheep of the Edilbayevskaya breed in the conditions of the farm Abdulkhalikov M. A., Svetloyarsky district of the Volgograd region. **Results and conclusions.** A comparative analysis of the live weight of experimental animals at the age of 8 months showed the following results: the sheep of the experimental groups receiving feed additives of natural origin significantly outperformed the controls – the first (OR + "Lactuvet-1"), by 2.58 kg (P<0.05), the second (OR+ isomaltooligosaccharide (IMO) by 2.50 (P<0.05). The average daily increase in live weight in the experimental animals exceeded the control analogues: the first by 18.9 g or 15.74 %, the second by 17.82 g or 14.84 %. The results of the analysis of the chemical composition of the longest back muscle showed that the dry matter in the meat of sheep of the I and II experimental groups was higher by 0.88 and 0.90 abs. percent (P<0.05). In terms of protein content in the longest back muscle, control sheep were inferior to animals of the experimental group I by 0.31 abs. percent and the experimental group II by 0.24 abs. percent (P<0.05). In terms of the mass fraction of fat, the difference in favor of the sheep of the I and II experimental groups was 0.57 and 0.72 abs. percent, respectively (P<0.05). The protein-qualitative index of the longest back muscle in experimental sheep I and II was higher by 0.29 and 0.38 or 7.47 and 9.79 %, respectively, compared with the control group of animals. The amount of essential amino acids was slightly higher in the meat of the sheep of the experimental groups by 0.13 g or 1.8 % in the first experimental group and by 0.205 g or 3.41 % in the second. The amino acid index in the first and second experimental groups was higher than in the control group by 4.26 % and 7.4 %, respectively.

Keywords: *lambs, Edilbayevskaya sheep breed, Lactuvet-1, Isomaltoligosaccharide (IMO), lamb meat, lamb meat chemical composition, lamb meat organoleptic characteristics.*

Citation. Abdulkhalikov A. M., Chamurliev N. G., Shperov A. S., Mosolov A. A. The new fodder additives effect on the Edilbayevskaya breed sheep meat chemical composition and organoleptic parameters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 441-446 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-49.

Authors' contribution. The team of authors of this study mentioned in the article was directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All the authors of this article have reviewed and agreed on the final version presented.

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

УДК 636.32/.38.087.7+637.5'63.04

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ КОРМОВЫХ ДОБАВОК НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЯСА БАРАНЧИКОВ ЭДИЛЬБАЕВСКОЙ ПОРОДЫ

[1]**Абдулхаликов А. М.,** *аспирант*
[1]**Чамурлиев Н. Г.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]**Шперов А. С.,** *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*
[2]**Мосолов А. А.,** *доктор биологических наук, главный научный сотрудник*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]Поволжский научно-исследовательский институт производства
и переработки мясомолочной продукции
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Продуктивность животных зависит от множества факторов, в том числе и от полноценного кормления. Включение в рационы овец различных кормовых добавок способно оказывать существенное влияние на приросты живой массы, а также влиять на потребительские и кулинарные качества баранины. Как источник протеина животного происхождения она играет весьма важную роль в питании человека. Пищевая ценность мяса зависит от соотношения различных тканей, входящих в его состав, наиболее ценные из которых мышечная и жировая. **Объект.** Объектом исследований являются кормовые добавки природного происхождения: лактулозосодержащая кормовая добавка «Лактувет-1» и побочный продукт глубокой переработки кукурузы изомальтоолигосахарид (ИМО). **Материалы и методы.** Исследования проводились на поголовье баранчиков эдильбаевской породы в условиях КФХ Абдулхаликов М. А., Светлоярского района Волгоградской области. **Результаты и выводы.** Сравнительный анализ живой массы подопытных животных в 8-месячном возрасте показал следующие результаты: баранчики опытных групп, получавшие кормовые добавки природного происхождения, достоверно превосходили контрольных: первая (ОР + «Лактувет-1») – на 2,58 кг (Р < 0,05), вторая (ОР + изомальтоолигосахарид (ИМО)) – на 2,50 кг (Р < 0,05). Среднесуточный прирост живой массы у опытных животных превосходил показатели контрольных аналогов: в первой группе – на 18,9 г, или 15,74 %, во второй – на 17,82 г или 14,84 %. Результатами анализа химического состава длиннейшей мышцы спины установлено, что содержание сухого вещества в мясе баранчиков I и II опытных групп было выше на 0,88 и 0,90 абс. % (Р < 0,05). По содержанию белка в длиннейшей мышце спины контрольные баранчики уступали животным I опытной группы на 0,31 абс. % и II опытной группы на 0,24 абс. % (Р < 0,05). По массовой доле жира разница в пользу баранчиков I и II опытных групп составила соответственно на 0,57 и 0,72 абс. % (Р < 0,05). Белково-качественный показатель длиннейшей мышцы спины у баранчиков I и II опытных групп в сравнении с контрольной группой животных был выше на 0,29 и 0,38 или на 7,47 и 9,79 % соответственно. Сумма незаменимых аминокислот оказалась несколько выше в мясе баранчиков опытных групп: на 0,13 г (1,8 %) в I опытной и на 0,205 г (3,41 %) во II. Аминокислотный индекс в I и II опытных группах был выше, чем в контрольной, на 4,26 и 7,4 % соответственно.

Ключевые слова: *баранчики, эдильбаевская порода овец, «Лактувет-1», Изомальтоолигосахарид (ИМО), баранина, химический состав баранины, органолептические показатели баранины.*

Цитирование. Абдулхаликов А. М., Чамурлиев Н. Г., Шперов А. С., Мосолов А. А. Влияние новых кормовых добавок на химический состав и органолептические показатели мяса баранчиков эдильбаевской породы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 441-446. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-49.
Авторский вклад. Коллектив авторов настоящего исследования, указанного в статье принимал прямое участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и согласовали представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие животноводства связано с апробацией и внедрением в производство новых технологических подходов с целью оптимизации селекционно-племенной работы, совершенствования зоогигиенических условий содержания и кормления, применения балансирующих добавок и других ценных компонентов [1].

Использование новых кормовых добавок, создаваемых на основе натурального местного сырья, в рационах сельскохозяйственных животных благоприятно влияет на качественные показатели кормов и эффективность использования питательных веществ, что в конечном результате способствует увеличению производства животноводческой продукции [2-4].

Реализация потенциала продуктивности овец возможна только при условии сбалансированного кормления на основе учета особенностей их питания и обмена веществ. [5]. Баранина представляет собой сложный комплекс тканей, которые содержат различные пищевые вещества очень высокой биологической ценности. Пищевая ценность мяса зависит от соотношения компонентов различных тканей, входящих в его состав, среди которых

наиболее ценными являются мышечная и жировая ткани [6]. Овцы эдильбаевской породы обладают значительным потенциалом и хорошей акклиматизационной способностью, являясь при этом объектом для проведения научных исследований по совершенствованию продуктивных качеств [7-9].

Целью наших исследований стало изучение влияния лактулозосодержащей добавки «Лактувет-1» и изомальтоолигосахарида (ИМО) – побочного продукта глубокой переработки кукурузы – на химический состав и органолептические показатели мяса баранчиков эдильбаевской породы.

Для научно-производственного опыта в КФХ Абдулхаликова М. А. были сформированы 3 группы баранчиков-одинцов эдильбаевской породы: в первую группу вошли контрольные животные, получавшие основной рацион (ОР), во вторую – животные, которые к ОР дополнительно получали «Лактувет-1», в третью баранчики, получавшие ОР + изомальтоолигосахарид (ИМО).

При постановке на научно-хозяйственный опыт средняя живая масса баранчиков по группам колебалась от 38,08 до 39,55 кг. Разница по этому показателю между группами была статистически недостоверной. Сравнительный анализ живой массы подопытных животных в 8-месячном возрасте показал следующие результаты: опытные группы достоверно превосходили контрольную: первая – на 2,58 кг (P < 0,05), вторая – на 2,50 кг (P < 0,05). По среднесуточному приросту живой массы опытные животные превосходили контрольных аналогов: первая – на 18,9 г, или 15,74 %, вторая – на 17,82 г, или 14,84 %.

Оценивая результаты химического состава длиннейшей мышцы спины (таблица 1), можно констатировать, что содержание сухого вещества в мясе баранчиков I и II опытных групп было выше на 0,88 и 0,90 абс. процента (P < 0,05). По содержанию белка в длиннейшей мышце спины контрольные баранчики уступали животным I опытной группы на 0,31 абс. процент и II опытной группы на 0,24 абс. процента (P < 0,05). По массовой доли жира разница в пользу баранчиков I и II опытных групп составила соответственно на 0,57 и 0,72 абс. процента (P < 0,05).

Таблица 1 – Химический состав длиннейшей мышцы спины баранчиков (n=3), %
Table 1 – Chemical composition of the longest back muscle of sheep (n=3), %

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	Контрольная / Control	I опытная / test 1	II опытная / test 2
Влага / Moisture	75,10 ± 1,25	74,22 ± 1,21	74,20 ± 1,32
Сухое вещество / Dry matter	24,90 ± 0,20	25,78 ± 0,23*	25,80 ± 0,22*
Белок / Protein	16,54 ± 0,06	16,82 ± 0,07*	16,78 ± 0,05*
Жир / Fat	7,26 ± 0,10	7,83 ± 0,13*	7,98 ± 0,15*
Зола / Ash	1,10 ± 0,08	1,03 ± 0,07	1,04 ± 0,09

* P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001.

Классическим способом оценки биологической полноценности мяса является соотношение в нем полноценной аминокислоты (триптофана) к представителю неполноценных аминокислот (оксипролину). В процессе исследований (таблица 2) установлено, что в мясе баранчиков I и II опытных групп содержание аминокислоты триптофана было достоверно больше по сравнению с контрольными сверстниками на 11,88 и 17,26 мг% (P < 0,05), соответственно (P < 0,05). В свою очередь содержание оксипролина было достоверно выше в контрольной группе по сравнению с I и II опытными группами на 1,61 и 1,09 мг% (P < 0,05).

Таблица 2 – Биологическая полноценность длиннейшей мышцы спины баранчиков (n=3)
Table 2 – Biological usefulness of the longest back muscle of sheep (n=3)

Показатель / Indicator	Единица измерения / Unit measure	Группа / Group		
		Контрольная / Control	I опытная / test 1	II опытная / test 2
Триптофан / Tryptophan	мг%	246,22 ± 2,35	258,10 ± 2,61*	263,48 ± 2,89*
Оксипролин / Oxyphenylalanine	мг%	63,46 ± 0,26*	61,85 ± 0,28	62,37±0,25
БКП* / Protein-quality indicator		3,88	4,17	4,26

*Белково-качественный показатель / Protein-quality indicator.

Рассчитанный нами белково-качественный показатель у баранчиков I и II опытных групп, в сравнении с контрольной группой животных, был выше на 0,29 и 0,38 или на 7,47 и 9,79 % соответственно. При сравнительной оценке белково-качественных показателей у баранчиков I и II опытных групп достоверной разницы не установлено.

При оценке потребительских качеств (таблица 3), установлено, что мясо баранчиков I и II опытных групп характеризовалось высоким показателем влагоудерживающей способности. Животные контрольной группы по этому показателю достоверно уступали опытным

на 1,13 и 1,45 абс. процента (P < 0,05). По увариваемости существенной разницы не установлено – величина показателя колебалась от 37,24 до 37,82 %. Показатель pH мяса находился в пределах нормы (от 5,81 до 5,85). Кулинарно-технологический показатель мяса у опытных баранчиков был достоверно выше, чем у животных контрольной группы (P < 0,05).

Таблица 3 – Технологические и кулинарные показатели мяса баранчиков
Table 3 – Technological and culinary indicators of lamb meat

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	Контрольная / Control	I опытная / test 1	II опытная / test 2
Влагоудерживающая способность, % / Meat moisture retention capacity, %	52,19 ± 0,21	53,32 ± 0,26*	53,64 ± 0,28*
Увариваемость мяса, % / Meat shrinkage, %	37,82 ± 0,19	37,83 ± 0,21	37,24 ± 0,20
pH мяса / Meat pH	5,81 ± 0,04	5,85 ± 0,05	5,83 ± 0,03
КТП мяса* / Meat culinary and technological indicator	1,34 ± 0,01	1,44 ± 0,02*	1,43 ± 0,3*

*КТП – кулинарно-технологический показатель мяса.

Помимо химического состава и питательной ценности особое значение при оценке мяса придается органолептическим характеристикам, то есть вкусовым качествам мяса. Сравнительная дегустационная оценка вкусовых качеств мяса баранчиков разных групп в 8-месячном возрасте отражена в таблице 4.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование в рационах молодняка овец кормовых добавок способствовало улучшению качества мяса в I опытной на 1,20 % и во II опытной на 2,40 % по сравнению с контрольными сверстниками. Однако следует отметить, что достоверной разницы в показателях органолептики в исследованиях между мясом животных контрольной и опытных групп не установлено.

Таблица 4 – Результаты дегустационной оценки мяса баранчиков (n = 5)
Table 4 – The results of the tasting evaluation of lamb meat (n = 5)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	Контрольная / Control	I опытная / test 1	II опытная / test 2
Внешний вид / Appearance	8,4 ± 0,08	8,5 ± 0,09	8,7 ± 0,11
Запах, аромат / Smell, aroma	8,2 ± 0,07	8,4 ± 0,10	8,6 ± 0,12
Вкус / Taste	8,4 ± 0,05	8,2 ± 0,06	8,4 ± 0,08
Консистенция / Consistency	8,2 ± 0,06	8,5 ± 0,08	8,3 ± 0,07
Сочность / Juiciness	8,3 ± 0,07	8,7 ± 0,06	8,5 ± 0,05
Общая оценка / Overall rating	8,30 ± 0,08	8,40 ± 0,09	8,50 ± 0,10

Высокая пищевая ценность мяса, в том числе баранины, во многом определяется его аминокислотным составом (таблица 5). Многочисленные исследования отечественных ученых свидетельствуют о наличии в баранине 20 наиболее важных аминокислот, играющих решающую роль в белковом синтезе [10-13].

Таблица 5 – Аминокислотный состав длиннейшей мышцы спины баранчиков
Table 5 – Amino acid composition of the longest back muscle of sheep

Аминокислоты / Amino acids	Группа / Group		
	Контрольная / Control	I-опытная / test 1	II-опытная / test 2
Валин / Valine	0,90	0,93	0,95
Изолейцин / Isoleucine	1,35	1,37	1,38
Лейцин / Leucine	1,16	1,17	1,18
Лизин / Lysine	1,53	1,58	1,61
Треонин / Threonine	0,91	0,94	0,95
Триптофан / Tryptophan	0,62	0,59	0,61
Фенилаланин / Phenylalanine	0,86	0,88	0,90
Сумма незаменимых / Sum of essential	7,33	7,46	7,58
Аланин / Alanine	0,84	0,85	0,84
Аспарагиновая кислота / Aspartic acid	1,33	1,32	1,31
Глютаминовая кислота / Glutamic acid	3,12	3,08	3,06
Глицин / Glycine	1,13	1,13	1,11
Пролин / Proline	0,38	0,36	0,35
Тирозин / Tyrosine	0,44	0,38	0,37
Оксипролин / Oxyphenylalanine	0,14	0,13	0,14
Цистеин / Cysteine	0,38	0,37	0,36
Сумма заменимых / Sum of non-essential	7,76	7,61	7,54
Аминокислотный индекс / Amino acid index	0,94	0,98	1,01

Сравнительный анализ результатов аминокислотного состава мяса различных групп не выявил существенной разницы по изучаемым показателям. Сумма незаменимых аминокислот оказалась несколько выше в мясе баранчиков опытных групп: на 0,13 г, или 1,8 % в I опытной и на 0,205 г, или 3,41 % – во II. Аминокислотный индекс в I и II опытных группах был выше, чем в контрольной, на 4,26 и 7,4 % соответственно.

Заключение. Результаты проведенных исследований по изучению влияния лактулозосодержащей добавки «Лактувет-1» и изомальтоолигосахарида (ИМО) указывают на имеющиеся различия по химическому составу и показателям органолептической оценки мяса баранчиков эдильбаевской породы. Содержание сухого вещества в мясе баранчиков I и II опытных групп было выше на 0,88 и 0,90 абс. процента (P <0,05). По содержанию белка в длиннейшей мышце спины баранчики контрольной группы уступали животным I опытной группы на 0,31 абс. процента и II опытной группы на 0,24 абс. процента (P < 0,05). По массовой доле жира разница в пользу баранчиков I и II опытных групп составила соответственно на 0,57 и 0,72 абс. процента (P < 0,05).

Оценив биологическую полноценность мяса по белково-качественному показателю, установили, что он у баранчиков I и II опытных групп в сравнении с контрольной группой животных был выше на 0,29 и 0,38 ед. или на 7,47 и 9,79 % соответственно.

При оценке потребительских качеств баранины было установлено, что кулинарно-технологический показатель мяса у опытных баранчиков был достоверно выше, чем у животных контрольной группы (P < 0,05). Дегустационная оценка мяса баранчиков, получавших кормовые добавки, позволила выявить определённые различия по вкусовым качествам продукции. Так общая оценка баранины, полученной от молодняка I опытной группы, получавшей лактулозосодержащую добавку «Лактувет-1», превышала контроль на 1,20 %, а во II опытной группе, получавшей изомальтоолигосахарид, – на 2,40 % соответственно по сравнению с контрольными сверстниками. При оценке аминокислотного состава длиннейшей мышцы спины баранчиков групп существенной разницы по изучаемым показателям не установлено, при этом аминокислотный индекс в I и II опытных группах был несколько выше, чем в контрольной, на 4,26 и 7,4 % соответственно.

Conclusions. The results of the conducted studies on the effect of the lactose-containing additive "Lactuvet-1" and Isomaltooligosaccharide (IMO) indicate the differences in the chemical composition and indicators of organoleptic evaluation of meat of sheep of the Edilbaevskaya breed. The dry matter content in the meat of sheep of the I and II experimental groups was higher by 0.88 and 0.90 abs. percent (P<0.05). In terms of protein content in the longest back muscle, the sheep of the control group were inferior to the animals of the I-experimental group by 0.31 abs. percent and the II-experimental group by 0.24 abs. percent (P<0.05). In terms of the mass fraction of fat, the difference in favor of the sheep of the I and II experimental groups was 0.57 and 0.72 abs. percent, respectively (P<0.05).

When assessing the consumer qualities of mutton, it was found that the culinary and technological index of meat in experimental sheep was significantly higher than in animals of the control group (P < 0.05). The tasting assessment of the meat of sheep receiving feed additives revealed certain differences in the taste of the products, so the overall assessment of mutton produced from young animals in the I-experimental group receiving lactose-containing additives "Lactuvet-1" exceeded by 1.20 and in the II-experimental group receiving Isomaltooligosaccharide (IMO) by 2.40 %, respectively, compared with control peers. When assessing the amino acid composition of the longest back muscle of the sheep groups, no significant difference was found in the studied parameters, while the amino acid index in the I and II experimental groups was slightly higher than in the control group by 4.26 and 7.4 %, respectively.

Библиографический список

1. Горлов И. Ф., Брехова С. А. Развитие животноводства в агроэкологических условиях юга России: анализ основных направлений и полученных результатов. Аграрно-пищевые инновации. 2024. № 1 (25). С. 9-35.

2. Марынич А. П., Семенов В. В., Абилов Б. Т., Джафаров Н. М. О., Ершов А. М. Откорм баранчиков на комбикормах с кормовыми добавками нового поколения. Зоотехния. 2023. № 9. С. 27-33.

3. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Николаев Д. В., Гиро М. В., Воронцова Е. С., Суркова С. А., Абрамов С. В., Мосолова Е. А. Эффективность использования новых кормовых добавок при производстве продукции животноводства (обзор). Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1 (79). С. 242-250.

4. Зиянгирова С. Р., Галиева З. А., Юлдашбаев Ю. А. Оценка мясных качеств баранчиков романовской породы при использовании кормовых добавок "Глауконит" и "Биогумитель". Овцы, козы, шерстяное дело. 2025. № 1. С. 18-20.

5. Двалишвили В. Г., Гращенков Е. В. Метасмарт в рационах молодняка овец куйбышевской породы. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2024. № 6 (227). С. 53-68.

6. Муминов Н. Н., Худайбердиев А. Ю., Мамарасулов З. Э., Уролов Ш. А. Совершенствование технологии и исследование некоторых показателей химического состава блюд из мяса баранины. Авиценна. 2020. № 70. С. 16-18.

7. Филатов А. С., Мельников А. Г., Чамурлиев Н. Г., Эзергайль К. В. Мясная продуктивность и пищевая ценность мяса баранчиков грозненской породы и ее помесей с калмыцкой. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 159-164.

8. Засемчук И. В., Ляшенко В. В. Рост и развитие ягнят эдильбаевской породы. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2019. № 3-1 (33). С. 41-45.

9. Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Анисимова Е. Ю., Николаев Д. В., Сложенкина М. И. Хозяйственно-биологические особенности баранчиков эдильбаевской породы нового типа Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4 (82). С. 337-346.

10. Ерохин А. И., Карасев Е. А., Ерохин С. А. Интенсификация производства и повышение качества мяса овец: монография. М.: МЭСХ, 2015. 304 с.

11. Сазонова И. А. Сбалансированность аминокислотного состава мяса эдильбаевских баранчиков в зависимости от природно-климатического фактора. Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 3. С. 53-55.

12. Вологирова Д. А., Жекамухов М. Х. Питательная ценность и диетические достоинство баранины. Пищевая индустрия. 2021. № 2 (46). С. 42-43.

13. Козин А. Н., Сазонова И. А., Сазонова С. О. Сравнительная характеристика аминокислотного скора белков мяса баранчиков при обогащении рационов эссенциальными микроэлементами. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1 (35). С. 35-41.

References

1. Gorlov I. F., Brekhova S. A. The development of animal husbandry in the agricultural and ecological conditions of southern Russia: analysis of the main directions and the results of Agricultural and food innovations. 2024. No 1 (25). Pp. 9-35.

2. Marynich A. P., Semenov V. V., Abilov B. T., Jafarov N. M. O., Yershov A. M. Fattening of sheep on compound feeds with feed additives of a new generation. Zootechny. 2023. No 9. Pp. 27-33.

3. Gorlov I. F., Sklozhenkina M. I., Nikolaev D. V., Giro M. V., Vorontsova E. S., Surkova S. A., Abramov S. V., Mosolova E. A. The effectiveness of using new feed additives in the production of livestock products (review). Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2025. No 1 (79). Pp. 242-250.

4. Ziyangirova S. R., Galieva Z. A., Yuldashbaev Yu. A. Assessment of the meat qualities of Romanov sheep when using feed additives "Glauconite" and "Biohumitel" Sheep, goats, woolen business. 2025. No 1. Pp. 18-20.

5. Dvalishvili V. G., Grashchenkov E. V. Metasmart in the diets of young sheep of the Kuibyshev breed, Feeding of farm animals and feed production. 2024. No 6 (227). Pp. 53-68.

6. Muminov N. N., Khudaiberdiev A. Yu., Mamarasulov Z. E., Urolov Sh. A. Improving technology and studying some indicators of the chemical composition of lamb meat dishes. Avicenna. 2020. No 70. Pp. 16-18.

7. Filatov A. S., Melnikov A. G., Chamurliev N. G., Ezergail K. V. Meat productivity and nutritional value of sheep meat of the Grozny breed and its hybrids with Kalmyk. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2017. No 2 (46). Pp. 159-164.

8. Zasemchuk I. V., Lyashenko V. V. The growth and development of lambs of the Edilbaevskaya breed. Bulletin of the Don State Agrarian University. 2019. No 3-1 (33). Pp. 41-45.

9. Gorlov I. F., Mosolov A. A., Anisimova E. Yu., Nikolaev D. V., Sklozhenkina M. I. Economic and biological features of the Edilbaev breed sheep of a new type. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrouniversity Complex: Science and higher professional education. 2025. No 4 (82). Pp. 337-346.

10. Erokhin A. I., Karasev E. A., Erokhin S. A. Intensification of production and quality improvement of sheep meat: monograph. Moscow: MESKH, 2015. 304 p.

11. Sazonova I. A. The balance of the amino acid composition of meat of Edilbaevskaya sheep depending on the natural and climatic factor. Sheep, goats, woolen business. 2018. No 3. Pp. 53-55.

12. Vologirova D. A., Zhekamukhov M. H. Nutritional value and dietary dignity of mutton. The food industry. 2021. № 2 (46). Pp. 42-43.

13. Kozin A. N., Sazonova I. A., Sazonova S. O. Comparative characteristics of the amino acid score of lamb meat proteins when enriching diets with essential trace elements. Proceedings of V. M. Kokov Kabardino-Balkaria State Agrarian University. 2022. № 1 (35). Pp. 35-41.

Информация об авторах

Абдулхаликов Абдулла Махмудович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Чамурлиев Нодари Георгиевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Шперов Александр Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: shperov2011@mail.ru

Мосолов Александр Анатольевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, ул. им. Рокоссовского, 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Authors' Information

Abdulkhalikov Abdulla Makhmudovich, postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Chamurliev Nodari Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: zootexnia@mail.ru

Shperov Aleksandr Sergeevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: shperov2011@mail.ru

Mosolov Aleksandr Anatolyevich, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, Volgograd, Rokossovsky Str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-50

THE DIFFERENT DAM SELECTION STRATEGIES EFFECT ON THE HEREFORD YOUNGSTOCK PRODUCTIVITY

[1]Glukhova O. N., [1]Khakimov I. N., [2]Nikolaev S. I., [2]Vodyannikova V. V., [3]Kashirina L. G.

[1]Samara State Agrarian University
Samara, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[3]Ryazan State Technical University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Received 22.02.2026 Submitted 05.06.2026

Abstract

Introduction. Further improvement of the Hereford breed in breeding farms of the Samara region largely depends on the efficiency of selection and breeding programs. These programs are based on the extensive use of superior bulls of both domestic and foreign selection through artificial insemination, rational utilization of the genetic potential of highly productive cows, and effective management of targeted selection and mating strategies. Special attention should be given to the selection and rearing of beef cows, which play a key role in the implementation of breeding programs in beef cattle production. Selection aimed at increasing herd uniformity and stabilizing the inheritance of desirable traits in highly productive cows that consistently transmit these traits to their offspring is of considerable practical importance for further herd improvement. According to the principles of population genetics, improving the efficiency of cattle breeding requires an understanding of the variability of productive traits and the correlations between them. In the presence of positive correlations, selection for one trait may lead to improvement in another. Selection based on combinations of positively correlated traits, can significantly increase breeding efficiency. The aim of this study was to evaluate economically important traits of first-calf Hereford cows and their interrelationships. **Materials and methods.** The study involved 3-year-old Hereford cows. At the first stage, 200 cows were evaluated to determine coefficients of variation, heritability, and repeatability of traits, as well as correlation coefficients between them. Based on the highest values of correlation, heritability, and repeatability, the following traits were selected for further analysis: live weight, body condition score, and body measurements (rump height and chest girth). At the second stage, different selection strategies for first-calf cows were investigated based on combinations of traits: Group 1: live weight + rump height, Group 2: live weight + chest girth, Group 3: live weight + body condition score. All cows were inseminated with semen from a single American-bred Hereford bull (Favr 91A). The offspring were raised under identical conditions: suckling under their dams until weaning, followed by sex-separated rearing up to 15 months of age. In the young animals, live weight dynamics, absolute weight gain, and average daily gain were studied. **Results.** The study revealed positive moderate correlations between: live weight and rump height (0.46), live weight and chest depth (0.30), live weight and chest width (0.44). High correlations were found between: live weight and chest girth (0.68), live weight and body condition score (0.74), body condition score and chest girth (0.61). Analysis of the influence of selection strategies on offspring productivity showed that the most effective approach was simultaneous selection based on live weight and body condition score. Offspring obtained from cows selected using this strategy exhibited higher live weight and productivity compared to those from other groups. At 15 months of age, heifers from this group exceeded their counterparts by 8.4 % and 4.2 %, while bulls exceeded those from other groups by 5.8 % and 2.5 %, respectively.

***Keywords*:** *Hereford cattle breed, Hereford cows, young cattle, beef cattle breeding, meat productivity of Hereford cattle, beef production.*

Citation. Glukhova O. N., Khakimov I. N., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Kashirina L. G. The different dam selection strategies effect on the Hereford youngstock productivity. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 447-456 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-50.

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

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.2.082

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ВАРИАНТОВ ОТБОРА МАТЕРЕЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МОЛОДНЯКА ГЕРЕФОРДСКОЙ ПОРОДЫ

[1]**Глухова О. Н.,** *аспирант*
[1]**Хакимов И. Н.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Николаев С. И.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[2]**Водянникова В. В.,** *доктор биологических наук, доцент*
[3]**Каширина Л. Г.,** *доктор биологических наук, профессор*

[1]ФГБОУ ВО Самарский ГАУ
г. Самара, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Рязанский ГАТУ имени П. А. Костычева
г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. Дальнейшее совершенствование герефордской породы в племенных хозяйствах Самарской области в значительной степени зависит от эффективности проводимой селекционно-племенной работы, которая основывается на широком использовании лучших быков породы отечественной и импортной селекции методом искусственного осеменения, рациональном использовании генетического потенциала высокопродуктивных коров, управлении направленным отбором и подбором. При этом пристальное внимание должно быть уделено отбору и выращиванию мясных коров, что играет важную роль в осуществлении селекционного процесса в мясном скотоводстве. Селекционная работа на повышение однородности и закрепление наследственности высокопродуктивных коров, стойко передающих свои качества потомству, представляет значительный практический интерес для дальнейшего совершенствования стад племенных хозяйств. Согласно положениям популяционной генетики, для повышения эффективности проводимой селекционно-племенной работы с крупным рогатым скотом, необходимо иметь понимание возможной вариабельности продуктивных показателей животных и наличия корреляционных связей между ними. В случаях наличия положительной корреляции между признаками, отбирая животных по одному признаку, можно улучшить и другой признак. Если вести отбор по сочетанию положительно коррелирующих признаков, можно увеличить эффективность селекционной работы. Целью работы была оценка хозяйственно полезных признаков коров-первотёлок герефордской породы и их взаимосвязи. **Материалы и методы.** Объектом исследований стали коровы 3-летнего возраста герефордской породы**.** На первом этапе исследований у 200 коров определили коэффициенты изменчивости, наследуемости и повторяемости признаков, а также коэффициенты корреляции между этими признаками. По наибольшим величинам коэффициентов корреляции, наследуемости и повторяемости для дальнейшего применения оставили признаки: живая масса, балльная оценка упитанности и промеры тела: высота в крестце, обхват груди. На втором этапе исследований изучали разные варианты отбора коров-первотёлок, отобранных по разным признакам: 1-я группа – живая масса + высота в крестце; 2-я группа – живая масса + обхват груди; 3-я группа – живая масса + упитанность. Их осеменили семенем одного быка американской селекции герефордской породы – Фавр 91А. Полученный от коров молодняк выращивали в одинаковых условиях: под матерями на подсосе до отъёма, потом – раздельно по полу до 15 месяцев. У молодняка изучили динамику живой массы, абсолютный и среднесуточный приросты. **Результаты и выводы.** В ходе исследований были установлены положительные и средние по значимости коэффициенты корреляции между живой массой и высотой в крестце – 0,46, массой и глубиной груди – 0,30, массой и шириной груди – 0,44. Высокие коэффициенты корреляции установлены между живой массой и обхватом груди – 0,68, массой и упитанностью – 0,74. Также высокая корреляция установлена между упитанностью и обхватом груди – 0,61. При изучении влияния вариантов отбора на продуктивность потомства установлено, что лучшим вариантом отбора является одновременный отбор по живой массе и упитанности. Потомство, полученное от коров после такого отбора, имело живую массу и продуктивность выше, чем у молодняка, полученного от матерей, отобранных по другим вариантам. Живая масса тёлок в возрасте 15 месяцев превосходила живую массу тёлок, полученных от коров, отобранных по другим вариантам, на 8,4 и 4,2 %. Разница среди бычков составила 5,8 и 2,5 %, соответственно.

Ключевые слова: *герефордская порода КРС, коровы герефордской породы, молодняк КРС, селекция мясного скота, мясная продуктивность герефордского скота, производство говядины.*

Цитирование. Глухова О. Н., Хакимов И. Н., Николаев С. И., Водянникова В. В., Каширина Л. Г. Влияние разных вариантов отбора матерей на продуктивность молодняка герефордской породы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 447-456. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-50.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Задача увеличения производства мяса, в том числе говядины, является одной из основных проблем в области агропромышленного комплекса. Важным резервом производства этого ценнейшего продукта питания остаётся развитие мясного скотоводства, поскольку поголовье скота в молочном скотоводстве в последние годы снижается из-за возрастания продуктивности дойных коров [1].

Производство говядины в стране, в общем объёме производства мяса всех видов, сократилось с 21,3 % в 2015 году до 17,3 % в 2023 г. Производство скота в убойном весе за 2015-2023 гг. сократилось на 4,5 % и составило 1545,0 тыс. тонн. При этом доля сельскохозяйственных предприятий в общем объёме производства повысилась с 38,3 и до 39,2 %, в крестьянских фермерских хозяйствах – с 12,3 до 13,2 %, при сокращении удельного веса хозяйств населения с 49,4 до 47,6 % [2].

По оценкам этого же центра, по итогам 2025 года производство говядины снизилось до 1 598,2 тыс. тонн в убойной массе, что на 4,3 % (на 72,3 тыс. тонн) меньше значений 2024 года. Доля говядины в общем объеме производства мяса в стране составляет 13,0 %. То есть, наметился тренд снижения производства этого вида мяса [3].

Что касается импорта, то он тоже бьёт рекорды и превысил 300 тыс. тонн. В 2024 году снижение поголовья скота отмечалось ускоренными темпами. По разным оценкам, потери составляют до 4 % коров: в сельскохозяйственных организациях – 4,4 %, в фермерских хозяйствах – до 2-2,5 %, в хозяйствах населения – до 4 %. Снижение поголовья коров может составить 250-300 тыс. голов, причём порядка половины – в корпоративном секторе (сельскохозяйственные организации и фермеры). По данным Росстата, на конец 2024 года поголовье крупного рогатого скота в РФ составило 17,2 млн голов, из них коров – 7,4 млн голов, в том числе мясных и помесных коров, которых не менее 1,2 млн голов, по которым снижение не наблюдается.

Потребность в говядине в стране на 31,1 % удовлетворяется за счет завоза из других стран. Это означает, что в снабжении населения говядиной Россия находится в зависимости от импорта. Особенно много говядины импортируют из Бразилии, Аргентины, Уругвая и других стран. В последние годы начали в страну завозить мясо буйволов из Индии [4].

Кроме того, мясо, завозимое из-за рубежа, часто не очень высокого качества и с низкими санитарно-гигиеническими показателями (в основном это замороженные малоценные куски мяса, а часто – обрезь). К тому же невозможно осуществить контроль за использованием генетически модифицированных кормов, стероидов, гормонов роста и запрещенных в России кормовых добавок при производстве говядины, а также осуществлять надёжный ветеринарный контроль за распространенными в других странах заболеваниями животных с продолжительными периодами латентности. Дальнейшее наращивание поставок мяса из-за рубежа в условиях жесточайших экономических и политических санкций, введённых по отношению к нашей стране западными странами, и превращение импорта в основной источник обеспечения населения мясом в условиях мирового продовольственного кризиса и резкого повышения цен чреваты непредсказуемыми последствиями, потерей продовольственной безопасности страны [5].

Вследствие этого остаётся только один путь – развивать своё производство говядины. По мнению многих учёных, для достижения рекомендуемых норм потребления мяса и обеспечения продовольственной безопасности страны необходимо увеличить объёмы производства говядины примерно в 1,5 раза и развивать специализированное мясное скотоводство [6].

Известно, что большинство пород и типов крупного рогатого скота по своим хозяйственно-биологическим свойствам представляют собой большую экономическую и генетическую ценность и обладают большим биологическим потенциалом для дальнейшего повышения продуктивности мясного скота и увеличения рентабельности производства говядины. И этот потенциал далеко ещё не исчерпан.

В связи с этим важнейшая задача племенного дела на современном этапе – дальнейшее совершенствование продуктивных и племенных качеств разводимых пород животных. Этот процесс сводится не только к выявлению лучших генотипов, но и к их макси-

мальному использованию в воспроизводстве популяций. Большой прогресс породы достигается интенсивным использованием быков-производителей, особенно оценённых по качеству потомства. В то же время необходимо помнить, что в формировании генотипов потомства наравне с быками участвуют коровы. И нельзя игнорировать их влияние.

На современном этапе герефордская порода занимает третье место среди специализированных мясных пород, разводимых в регионах РФ [7].

Эта порода, обладает отличными генетическими характеристиками и адаптационными свойствами и способна демонстрировать высокую продуктивность в самых различных климатических зонах страны [8].

Селекционная работа по улучшению однородности и закреплению наследственности высокопродуктивных коров герефордской породы представляет большой практический интерес для дальнейшего совершенствования стад [9].

Эффективность племенной работы в улучшении качества разводимого скота той или иной породы во многом зависит от правильного выбора направления отбора маточного поголовья по основным селекционным признакам [10].

С целью определения основных признаков отбора в племенной работе используют селекционно-генетические параметры: среднее развитие признака, изменчивость, наследуемость, повторяемость, корреляционные связи, регрессию между признаками и др. [11, 12, 13].

Организм животных как целостная система имеет сложную цепь положительно или отрицательно взаимосвязанных признаков и явлений. Вследствие этого отбор по положительно взаимосвязанным признакам является эффективным и способствует быстрому совершенствованию признаков [14].

Целью работы было выявление влияния на продуктивность потомков лучшего варианта отбора коров-матерей, отобранных по разным сочетаниям признаков.

Материалы и методы исследований. Предварительно в стаде племенного репродуктора ООО «К. Х. Полянское» по разведению герефордской породы у 200 коров 3-летнего возраста были определены: среднее арифметическое значение, ошибка средней арифметической, коэффициенты изменчивости, наследуемости и повторяемости по живой массе, упитанности и по 11 основным промерам тела. Далее определялись коэффициенты корреляции и регрессии между живой массой, упитанностью и основными промерами тела. После определения коэффициентов взаимосвязей и наследуемости для дальнейшего применения оставили признаки: живую массу, упитанность и промеры (высота в крестце, ширина, глубина и обхват груди), имеющие наиболее значимые величины корреляции между собой. Определение упитанности коров проводили по методике, предложенной Акимовым А. Л. и др. [11].

При достижении возраста пяти лет у этих же коров были определены коэффициенты повторяемости признаков. Для исследований были использованы данные, полученные из информационно-аналитической системы «Селэкс. Мясной скот». С целью выявления влияния разных вариантов отбора коров-матерей на продуктивность потомства были сформированы 3 группы коров трех лет по 15 голов в каждой, отобранных по разным сочетаниям признаков: 1-я группа – живая масса не менее 475 кг (требования класса «элита-рекорд») и высота в крестце не менее 135 см (среднее значение по 3-летним коровам + 1σ); 2-я группа – по живой массе не ниже 475 кг и обхвату груди не менее 193 см (среднее значение + 1σ); 3-я группа – живая масса не менее 475 кг и упитанность не менее 6 баллов (среднее значение +1σ). Все коровы были осеменены искусственно семенем одного быка американской селекции – Фавр 91А в течение 1-2 месяцев. Полученный молодняк выращивался в одинаковых условиях кормления и содержания в зависимости от пола. У молодняка учитывали живую массу и по результатам взвешиваний определяли абсолютный и среднесуточный приросты за каждый период. Цифровой материал был обработан биометрически с использованием методов описательной статистики в Microsoft Excel.

Результаты исследований. Одной из задач селекционно-племенной работы в мясном скотоводстве является создание однородных по селекционируемым признакам стад с хорошо выраженным мясным типом у животных, которому свойственны крупный формат телосложения, высокая живая масса, широкое округлое туловище с развитой мускулатурой, крепким, но не грубым костяком [9].

Селекционеры племенного хозяйства также перед собой ставят точно такие задачи – создание широкотелых, длинных животных с хорошо развитой мускулатурой и хорошим здоровьем.

В таблице 1 представлены результаты определения развития признаков у коров 3-х лет и коэффициентов изменчивости, наследуемости и повторяемости.

Таблица 1 – Развитие признаков и коэффициенты изменчивости, наследуемости и повторяемости
Table 1 – Trait development and coefficients of variation, heritability and repeatability

Признак / Trait	Показатель / Parameter			
	M ± m	C_v	h^2	r_w
Высота в крестце, см / Rump height, cm	132,0 ± 0,23	1,69	0,72	0,78
Глубина груди, см / Chest depth, cm	63,13 ± 0,28	1,95	0,48	0,60
Ширина груди, см / Chest width, cm	45,30 ± 0,24	1,71	0,48	0,65
Обхват груди, см / Chest girth, cm	184,8 ± 0,56	3,95	0,54	0,60
Упитанность, балл / Body condition score, points	4,87 ± 0,07	0,48	0,48	0,36
Живая масса, кг / Live weight, kg	459,2 ± 3,27	3,15	0,56	0,33

Коровы-первотёлки хорошо развиты, имеют в среднем живую массу 459,2 кг, что больше стандарта породы на 6,8 % и глубокой и широкой грудью, что обуславливает большой обхват груди – 184,8 кг. Средняя упитанность коров за 90-100 дней до отёла составила 4,87 балла, при желательной упитанности 5-7 баллов. Животные высокорослые, высота в крестце 132,0 см, что на уровне требований класса элита-рекорд. Наибольшая изменчивость наблюдается по обхвату груди – 3,95 %, что сулит хороший селекционный эффект в случае отбора по данному признаку. Значительная изменчивость также наблюдается по живой массе – 3,15 %. Наибольшие коэффициенты наследуемости и повторяемости установлены по высоте в крестце – 0,72 и 0,78, соответственно.

В ходе исследований были определены коэффициенты корреляции и регрессии между хозяйственно-полезными признаками (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции и регрессии между признаками
Table 2 – Correlation and regression coefficients between traits

Признак / Trait	Коэффициент / Coefficient			
	Живая масса / Live weight		Упитанность / Body condition	
	r	R	r	R
Высота в крестце / Rump height	0,46	6,30	0,25	0,85
Глубина груди / Chest depth	0,30	3,56	0,25	1,02
Ширина груди / Chest width	0,49	6,65	0,45	5,02
Обхват груди / Chest girth	0,68	3,99	0,61	1,60
Живая масса / Live weight	-	-	0,74	35,70
Упитанность / Body condition	0,74	0,02	-	-

Если коэффициенты корреляции показывают, насколько один признак взаимосвязан с другим, и их определяют в долях единицы или в процентах, то коэффициент регрессии является величиной поименованной, то есть он определяется в единицах, в которых измеряется признак. Например, коэффициент корреляции между живой массой коров и упитанностью равняется 0,74. Коэффициент регрессии между упитанностью и живой массой равен 35,70 кг. Это означает, что при изменении упитанности на 1 балл масса коров изменяется на 35,70 кг, а при изменении массы на 1 кг упитанность животных изменяется на 0,02 балла. Надо отметить, что коэффициенты корреляции между признаками положительные и сравнительно высокие: между живой массой и упитанностью (0,74), между живой массой и обхватом груди (0,68), между упитанностью и обхватом груди (0,61). Средние коэффициенты корреляции наблюдаются между живой массой и шириной груди (0,49), живой массой и глубиной груди (0,30), живой массой и высотой в крестце (0,46), глубиной груди и упитанностью (0,25), высотой в крестце и живой массой (0,25), шириной груди и упитанностью (0,45). Все эти значения свидетельствуют, что, ведя отбор по этим признакам, можно добиться прогресса и по сопряжённым признакам.

Основываясь на этих данных, было решено провести хозяйственный эксперимент в племенном репродукторе ООО «К. Х. Полянское» по выявлению лучших вариантов отбора трехлетних коров. Первотёлок распределили на три группы согласно вариантам отбора, проведённым по методике, описанной в разделе «Материал и методы исследований», они были

искусственно осеменены семенем одного быка для исключения влияния отцов на потомство. Полученный молодняк в молочный период выращивали на подсосе под матерями-кормилицами в одинаковых условиях кормления и содержания. После отъёма от матерей в возрасте 8 месяцев тёлок выращивали отдельно от бычков. Кормление производилось по хозяйственным рационам, рассчитанным на получение среднесуточного прироста от тёлок 700-800 г, от бычков 800-900 г. Результаты эксперимента приведены в таблицах 3-5.

Изменения живой массы по периодам выращивания до 15-месячного возраста даны в таблице 3.

Таблица 3 – Динамика живой массы молодняка от рождения до 15-месячного возраста, кг
Table 3 – Dynamics of live weight of young stock from birth to 15 months of age, kg

Возраст / Age	Пол / Sex	Группа / Group					
		1		2		3	
		n	M ± m	n	M ± m	n	M ± m
При рождении / At birth	Тёлки / Heifers	7	25,7 ± 0,42	8	26,2 ± 0,48	6	26,8 ± 0,51
	Бычки / Bulls	8	28,4 ± 0,51	7	29,1 ± 0,53	9	28,6 ± 0,49
8 месяцев / 8 months	Тёлки / Heifers	7	215,5 ± 3,68	8	226,6 ± 3,12	6	230,3 ± 4,53
	Бычки / Bulls	8	222,3 ± 3,21	7	234,7 ± 3,79	9	247,2 ± 3,41
12 месяцев / 12 months	Тёлки / Heifers	7	286,2 ± 3,65	8	300,6 ± 3,08	6	312,4 ± 3,11
	Бычки / Bulls	8	340,1 ± 4,87	7	354,7 ± 4,58	9	367,5 ± 4,97
15 месяцев / 15 months	Тёлки / Heifers	7	330,9 ± 4,20	8	344,1 ± 4,02	6	358,6 ± 4,13
	Бычки / Bulls	8	420,7 ± 4,33	7	432,8 ± 4,69	9	445,3 ± 4,01

Тёлочки всех групп при рождении имели практически одинаковую живую массу, отличаясь незначительно, что могло оказать влияние на дальнейший рост и развитие телят.

В возрасте восьми месяцев среди тёлок большей живой массой характеризовались животные, полученные от коров третьей группы, то есть от коров, отобранных по живой массе и по упитанности – 230,3 кг, что больше, чем в первой группе тёлок на 14,8 кг (8,1 %), P ≥ 0,95, и на 3,7 кг больше, чем у тёлок второй группы. Тёлки второй группы превосходили тёлок первой группы на 11,1 кг или на 5,2 %, P ≥ 0,95.

Выявлены различия в этом возрасте также среди бычков. Например, живая масса бычков третьей группы на 24,9 кг больше, чем масса бычков первой группы, что составляет в относительной величине 11,2 %, при уровне достоверности разницы P ≥ 0,999. В то же время эти бычки превосходили бычков, полученных от коров второй группы, на 12,5 кг, или на 5,3 %, P ≥ 0,95. Бычки от коров второй группы, в свою очередь, превзошли бычков от коров первой группы на 12,4 кг (5,6 %), P ≥ 0,95.

В другой возрастной период наблюдаются также значимые различия по массе животных. Наибольшую живую массу среди тёлок продемонстрировали тёлочки, полученные от коров, отобранных по живой массе и упитанности – 312,4 кг. Это больше, чем у тёлок первой группы на 26,2 кг или на 9,1 %, при достоверности разницы P ≥ 0,999. На втором месте были животные, матери которых отбирались по живой массе и по обхвату груди – 300,6 кг. Это на 8,4 кг больше, чем масса тёлок первой группы (2,8 %), в данном сравнении разница достоверна (P ≥ 0,99).

В годовалом возрасте бычки от коров третьей группы превосходили своих полубратьев по живой массе из первой группы на 27,4 кг (8,1 %), P ≥ 0,99. Бычки второй группы, в свою очередь, имели преимущество над молодняком первой группы на 14,6 кг или на 4,3 %, P ≥ 0,95, но при этом уступали бычкам третьей группы на 12,8 кг или на 3,6 %, но в данном случае разница не достоверна.

В возрасте 15 месяцев сохраняется аналогичная тенденция. Так, в группе тёлок, полученных от коров третьей группы, вес тела в среднем составила 358,6 кг, что больше, чем в первой группе на 27,7 кг или на 8,4 %, при P ≥ 0,99.

При этом, они же превосходили по массе тёлок, полученных от коров второй группы, на 14,5 кг (4,2 %), P ≥ 0,95. Тёлки от коров второй группы превзошли по живой массе тёлок от коров первой группы на 13,2 кг, что составляет 4,0 %, P ≥ 0,95.

Бычки в возрасте 15 месяцев различались по своей живой массе в зависимости от методов отбора матерей. Бычки, полученные от коров, отобранных по упитанности и живой массе, характеризовались самой большой живой массой – 445,3 кг. Они на достоверную величину превосходили по живой массе бычков, полученных от коров первой группы, на 24,6 кг или на 5,8 %, P ≥ 0,999.

Бычки, полученные от коров второй группы, превосходили по живой массе бычков, полученных от коров первой группы, на 12,1 кг или на 2,9 %.

Такие различия в живой массе молодняка были обусловлены разным абсолютным приростом молодняка (таблица 4).

Таблица 4 – Абсолютные приросты молодняка в период выращивания
Table 4 – Absolute weight gain of young stock during the rearing period

Период выращивания / Rearing period	Пол / Sex	Группа / Group					
		1		2		3	
		n	M ± m	n	M ± m	n	M ± m
От рождения до 8 месяцев / Birth-8 months	Тёлки / Heifers	7	189,8 ± 3,02	8	200,4 ± 3,16	6	203,5 ± 3,78
	Бычки / Bulls	8	193,9 ± 2,72	7	205,6 ± 2,76	9	218,6 ± 3,10
От 8 до 12 месяцев / 8-12 months	Тёлки / Heifers	7	70,7 ± 1,12	8	74,0 ± 1,24	6	82,1 ± 1,56
	Бычки / Bulls	8	117,8 ± 1,68	7	120,0 ± 1,81	9	120,3 ± 1,92
От 12 до 15 месяцев / 12-15 months	Тёлки / Heifers	7	44,7 ± 1,06	8	43,5 ± 1,22	6	46,2 ± 1,36
	Бычки / Bulls	8	80,6 ± 1,77	7	78,1 ± 1,68	9	77,8 ± 1,81
От 0 до 15 месяцев / 0-15 months	Тёлки / Heifers	7	305,2 ± 3,12	8	317,9 ± 3,68	6	331,8 ± 3,55
	Бычки / Bulls	8	392,3 ± 3,21	7	403,7 ± 3,44	9	416,7 ± 3,77

В период выращивания от рождения до 8 месяцев установлено, что за это время наибольший абсолютный прирост был у молодняка, полученного от коров третьей группы. Тёлочки из этой группы приросли на 203,5 кг, что больше, чем у тёлок первой группы, на 13,7 кг (7,2 %, P ≥ 0,95). Преимущество тёлок второй группы над тёлками первой группы по абсолютному приросту составило 10,6 кг или 5,6 %, P ≥ 0,95.

Схожая картина наблюдается среди бычков. Максимальный прирост был установлен у бычков третьей группы – 218,6 кг, что превосходит абсолютный прирост бычков первой группы на 24,7 кг, или на 12,7 %, P ≥ 0,999. Бычки первой группы превзошли бычков второй группы на 13,0 кг (6,3 %, P ≥ 0,95).

Абсолютный прирост бычков второй группы был больше прироста бычков первой группы на 11,7 кг (6,0 %, P ≥ 0,99).

В более старшем учётном периоде – от 8 до 12 месяцев, абсолютный прирост тёлок третьей группы составил 82,1 кг, что больше на 11,4 кг (16,1 %, P ≥ 0,999), чем у тёлок первой группы и на 8,1 кг (10,9 %, P ≥ 0,99), чем у тёлок второй группы, в то время, тёлки второй группы превзошли тёлок первой группы на 3,3 кг или на 4,7 %.

Среди бычков в этом возрастном периоде также большим приростом отличились бычки третьей группы, которые приросли на 120,3 кг, что незначительно больше, чем в других группах на 2,5 и 0,3 кг.

В период от 12 до 15 месяцев абсолютный прирост был больше у бычков первой группы – 80,6 кг, что недостоверно больше, чем в других группах.

За всё время выращивания молодняка от рождения до 15-месячного возраста, тёлки третьей группы выросли на 331,8 кг, что достоверно больше, чем в других группах. Так, они на 26,6 кг или на 8,7 % превзошли тёлок первой группы, при P ≥ 0,999, и на 13,9 кг (4,4 %, P ≥ 0,95) тёлок второй группы. Тёлки второй группы на 12,7 кг (4,2 %) превосходили по приросту тёлок первой группы, при достоверности P ≥ 0,95.

У бычков третьей группы был наибольший прирост массы тела за 15 месяцев выращивания и составил 416,7 кг. Это больше на 24,4 кг (6,2 %, P ≥ 0,999), чем у бычков первой группы и на 13,0 кг (3,2 %, P ≥ 0,95), чем у бычков второй группы. Абсолютный прирост бычков второй группы на 11,4 кг был больше, чем прирост бычков первой группы, что составляет 2,9 %, P ≥ 0,95.

Абсолютный прирост животных зависит от суточной продуктивности молодняка. Среднесуточные приросты в группах молодняка различались в зависимости от пола, возраста животных и от методов отбора матерей (таблица 5).

Анализ данных таблицы 5, показывает, что в возрасте до 8 месяцев среди всего молодняка, наибольшей продуктивностью обладали бычки третьей группы – 899,6 г, что больше, чем в первой группе на 104,1 г или на 13,1 %, при высокой достоверности разницы (P ≥ 0,999). Они же также превзошли по продуктивности и бычков второй группы на 53,5 г или на 6,3 %, P ≥ 0,95. Бычки второй группы превосходили по интенсивности роста бычков первой группы на 53,1 г или на 6,4 %, P ≥ 0,95.

Таблица 5 – Среднесуточные приросты молодняка в период выращивания, г
Table 5 – Average daily gain of young stock during the rearing period, g

Период выращивания / Rearing period	Пол / Sex	Группа / Group					
		1		2		3	
		n	M ± m	n	M ± m	n	M ± m
От рождения до 8 месяцев / Birth-8 months	Тёлки / Heifers	7	781,1 ± 14,8	8	824,7 ± 13,7	6	837,4 ± 14,1
	Бычки / Bulls	8	795,5 ± 12,9	7	846,1 ± 15,3	9	899,6 ± 14,4
От 8 до 12 месяцев / 8-12 months	Тёлки / Heifers	7	584,3 ± 10,9	8	611,5 ± 11,2	6	678,5 ± 11,8
	Бычки / Bulls	8	973,6 ± 16,0	7	991,7 ± 15,2	9	994,2 ± 15,8
От 12 до 15 месяцев / 12-15 months	Тёлки / Heifers	7	497,7 ± 10,5	8	488,3 ± 10,4	6	513,3 ± 11,1
	Бычки / Bulls	8	895,5 ± 13,5	7	867,8 ± 13,8	9	864,4 ± 12,9
От 0 до 15 месяцев / 0-15 months	Тёлки / Heifers	7	669,3 ± 11,7	8	697,1 ± 11,3	6	727,6 ± 12,2
	Бычки / Bulls	8	860,3 ± 12,9	7	885,3 ± 13,0	9	913,8 ± 13,7

Среди тёлок также высокими суточными приростами выделялись животные третьей группы, которые имели преимущество над тёлками первой группы по продуктивности на 56,3 г или на 7,2 %, P ≥ 0,95, а тёлок второй группы на 12,7 г или на 1,5 %. В этом случае разница не достоверна.

Во второй учётный период интенсивность роста у тёлок заметно снизилась. По-видимому, сказался отъём от матерей и перевод их на полуинтенсивное выращивание, которое принято в хозяйстве при выращивании тёлок. Но, ранг превосходства тёлок третьей группы сохранился. Животные данной группы превосходили тёлок первой группы на 95,2 г (16,1 %, P ≥ 0,999), а полусестёр второй группы – на 67,0 г или на 10,9 %, P ≥ 0,99.

Бычки отъём от матерей перенесли менее болезненно и показали большую энергию роста, особенно бычки третьей группы. Они имели суточную продуктивность – 994,2 г, что больше, чем у бычков первой группы на 20,6 г (2,1 %) и на 2,5 г больше, чем у животных второй группы. Здесь различия не значительные и не достоверны.

В период от одного года до 15 месяцев среди тёлок достоверных различий не установлено, так же, как и при сравнении групп бычков между собой. Надо отметить, что в этот период более продуктивными оказались бычки первой группы.

Если рассматривать среднесуточную интенсивность роста молодняка в сравнительном аспекте за весь период выращивания, то устанавливается чёткая закономерность превосходства молодняка, полученного от коров, отобранных по живой массе и по упитанности, над продуктивностью животных других групп. Так, тёлки третьей группы имели в среднем энергию роста 727,6 г, что больше, чем у полусестёр первой группы на 58,3 г или на 8,7 %, при достоверной разнице P ≥ 0,99, и на 30,5 г или на 4,4 %, чем у тёлок второй группы. Тёлки второй группы превзошли своих сверстниц первой группы на 27,8 г или на 4,2 %. Но в этом случае сравнения разница не достоверна.

По продуктивности бычки третьей группы превосходили своих сверстников из первой группы на 53,5 г или на 6,2 %, при P ≥ 0,99, а бычков второй группы на 28,5 г или на 3,2 %. Бычки второй группы имели преимущество перед бычками первой группы по интенсивности роста на 25,0 г или на 2,9 %.

Заключение. Проведённые нами исследования показали, что герефордские коровы данного стада обладают значительным резервом генетического потенциала и могут оказать существенное влияние на формирование перспективных генотипов при создании нового типа герефордского скота отечественной селекции. При этом необходимо использовать селекционно-генетические параметры. Коэффициент наследуемости высоты в крестце был высоким – 0,72, а по другим рассматриваемым признакам – средним: по живой массе – 0,56, по обхвату груди – 0,54, а по остальным – 0,48. Между рассматриваемыми признаками рассчитали коэффициенты сопряжённости. Были установлены положительные связи между живой массой и промерами коров, между живой массой и упитанностью, между упитанностью и промерами тела. Высокая сопряжённость признаков была установлена между живой массой и упитанностью коров – 0,74, а также между живой массой и обхватом груди – 0,68. С другими промерами и массой тела установлена средняя корреляция – от 0,30 до 0,49.

Отбор коров-первотёлок, произведённый разными вариантами, составленными с учётом коэффициентов корреляции и наследуемости признаков, показал различную эффективность селекции. Для целенаправленного совершенствования скота герефордской породы, наиболее эффективным методом оказалось использование отбора, произведённого с учётом живой массы и балльной оценки упитанности коров, по сравнению с другими вариантами отбора. В воз-

расте 15 месяцев живая масса тёлок от таких матерей в среднем составила 358,6 кг, что больше массы тёлок, полученной от матерей, отобранных по живой массе и высоте в крестце, на 27,7 кг, или на 8,4 %, а тёлок, полученных от коров, отобранных по живой массе и обхвату груди, на 14,5 кг (4,2 %). Бычки превосходили по живой массе бычков соответствующих групп отбора на 24,6 кг, или на 5,8 %, и на 12,5 кг, или на 2,9 %. Превосходство по среднесуточному приросту у тёлок составило 58,3 г (на 8,7 %), и 30,5 г или на 4,4 %, соответственно. По продуктивности бычков разница составила 53,5 г (6,2 %), на 28,5 г (3,2 %) соответственно. Таким образом, предпочтительным вариантом отбора является отбор с одновременным учётом живой массы и упитанности коров.

Conclusion. The conducted research demonstrated that Hereford cows in the studied herd possess a substantial reserve of genetic potential and can significantly contribute to the development of promising genotypes for creating a new type of domestically bred Hereford cattle. The use of selection and genetic parameters is therefore essential. The heritability coefficient for rump height was high (0.72), while for other traits it was moderate: live weight (0.56), chest girth (0.54), and other traits (0.48). Positive relationships were identified between live weight and body measurements, live weight and body condition score, and between body condition score and body measurements. Strong correlations were found between live weight and body condition score (0.74) and between live weight and chest girth (0.68). Moderate correlations (0.30-0.49) were observed between live weight and other body measurements. Different selection strategies for first-calf cows, developed based on correlation and heritability coefficients, showed varying levels of effectiveness. For targeted improvement of Hereford cattle, the most effective method was selection based on a combination of live weight and body condition score. At 15 months of age, heifers from such dams reached an average live weight of 358.6 kg, exceeding those from cows selected for live weight and rump height by 27.7 kg (8.4 %), and those selected for live weight and chest girth by 14.5 kg (4.2 %). Bulls exceeded their counterparts by 24.6 kg (5.8 %) and 12.5 kg (2.9 %), respectively. The advantage in average daily gain for heifers was 58.3 g (8.7 %) and 30.5 g (4.4 %), while for bulls it was 53.5 g (6.2 %) and 28.5 g (3.2 %), respectively. Thus, the most effective selection strategy is the simultaneous consideration of live weight and body condition score in cows.

Библиографический список

1. Цындрина Ю., Карташова В. Рост производства молока и говядины – умеренный. Животноводство России. 2025. С. 2-5.
2. Смакуев Д. Р., Абдулхаликов Р. З., Шахмурзов М. М. и др. Мясное скотоводство Российской Федерации: Точки роста. Известия Кабардино-Балкарского Государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 4 (46). С. 64-69.
3. Производство говядины в России: итоги за 2025 год и ретроспектива. Экспертно-аналитический центр агробизнеса "АБ-Центр" www.ab-centre.ru. 28.04.2026. https://ab-centre.ru/news/proizvodstvo-govyadiny-v-rossii-itogi-za-2025-god-i-retrospektiva
4. Снетков Д. Мясное скотоводство. Итоги года мясного скотоводства. 2026. https://www.korovainfo.ru/news/myasnoe-skotovodstvo-itogi-goda-otrasli-myasnogo-skotovodstva/
5. С премиальной говядиной в России проблем нет, а обычной не хватает. 2026. https://meatindustry.ru/news/s-premialnoy-govyadinoy-v-rossii-problem-net-a-obychnoy-ne-khvataet/#:~:text
6. Производство и потребление мяса, поголовье скота в РФ – 2024. 2026. https://agromics.ru/novosti/proizvodstvo-myasa-2024/
7. Боголюбова Л. П. и др. Породный состав в племенном мясном скотоводстве России. Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 1. С. 10-12.
8. Инербаев Б. О., Храмцова И. А., Инербаева А. Т. Генотипическая и фенотипическая характеристика популяции герефордского скота Западной Сибири. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 3. С. 97-105.
9. Джуламанов К. М. Оценка и отбор герефордских коров Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2016. № 2 (43). С. 43-49.
10. Амерханов Х. А. и др. Повышение производства говядины на основе селекционно-генетических и биотехнологических методов: монография. 2024. 284 с.
11. Акимов А. Л., Хакимов И. Н., Ухтверов А. М. Повышение продуктивности мясного скота за счёт улучшения технологи кормления, содержания и менеджмента стада: монография. 2024. 160 с.
12. Ачкасова Е. В. Генетические и паратипические факторы, влияющие на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы. Научные инновации в развитии отраслей АПК: материалы Международной научно-практической конференции. 2020. С. 11-15.
13. Батанов С. Д., Старостина О. С., Баранова И. А. и др. Влияние степени взаимосвязи параметров экстерьера на биологический статус крупного рогатого скота. Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции. 2022. С. 49-52.
14. Третьякова Р. Ф., Каюмов Ф. Г., Кущ Е. Д. Изменение промеров телосложения и взаимосвязь линейного и весового роста у тёлок калмыцкой породы новых заводских типов Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 51-57.

References

1. Tsyndrína Yu., Kartashova, V. Moderate growth in milk and beef production. Livestock of Russia. 2025. Pp. 2-5.
2. Smakuev D. R., Abdulkhalikov R. Z., Shakhmurzov M. M., et al. Beef cattle breeding in the Russian Federation: Growth points. Proceedings of the Kabardino-Balkaria State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2024. No. 4 (46). Pp. 64-69.
3. AB-Center. Beef production in Russia: Results of 2025 and retrospective analysis. 2026. https://ab-centre.ru/news/proizvodstvo-govyadiny-v-rossii-itogi-za-2025-god-i-retrospektiva
4. Snetkov D. Beef cattle breeding: Annual industry results. 2026. https://www.korovainfo.ru/news/myasnoe-skotovodstvo-itogi-goda-otrasli-myasnogo-skotovodstva
5. Meat Industry Portal. No shortage of premium beef in Russia, but deficit of standard beef remains. 2026. https://meatindustry.ru/news/s-premialnoy-govyadinoy-v-rossii-problem-net-a-obychnoy-ne-khvataet
6. Agromics. Meat production and consumption, livestock population in the Russian Federation – 2024. 2026. https://agromics.ru/novosti/proizvodstvo-myasa-2024
7. Bogolyubova L. P. et al. Breed composition in pedigree beef cattle breeding in Russia. Dairy and Beef Cattle Farming. 2021. No. 1. Pp. 10-12.
8. Inerbaev B. O., Khramtsova I. A., Inerbaeva A. T. Genotypic and phenotypic characteristics of the Hereford cattle population in Western Siberia. Siberian Herald of Agricultural Science. 2023. No. 53 (3). Pp. 97-105.
9. Dzhulamanov K. M. Evaluation and selection of Hereford cows. Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov. 2016. No. 2 (43). Pp. 43-49.
10. Amerkhanov Kh. A. et al. Increasing beef production based on selection-genetic and biotechnological methods: monograph. 2024. 284 p.
11. Akimov A. L., Khakimov I. N., Ukhtverov A. M. Improving beef cattle productivity through enhanced feeding technology, housing, and herd management: monograph. 2024. 160 p.
12. Achkasova E. V. (2020). Genetic and paratypic factors affecting milk productivity of Black-and-White cows. Scientific innovations in the development of agro-industrial sectors: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2020. Pp. 11-15.
13. Batanov S. D., Starostina O. S., Baranova I. A. et al. Influence of the relationship between conformation parameters on the biological status of cattle. Scientific developments and innovations in solving strategic tasks of the agro-industrial complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2022. Pp. 49-52.
14. Tretyakova R. F., Kayumov F. G., Kushch E. D. Changes in body measurements and the relationship between linear and weight growth in Kalmyk heifers of new breeding types. Animal Husbandry and Feed Production. 2018. No. 101 (2). Pp. 51-57.

Информация об авторах

Глухова Оксана Николаевна, аспирант, ФГБОУ ВО Самарский ГАУ (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 79А), e-mail: oksgl0616@mail.ru

Хакимов Исмагиль Насибуллович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Самарский ГАУ (Российская Федерация, 446442, Самарская область, г.о. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Селекционная, 3В), e-mail: Xakimov_2@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

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

Каширина Лидия Григорьевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), Author ID:671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

Authors' Information

Glukhova Oksana Nikolaevna, Postgraduate Student, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Shosseynaya Str., 79A), e-mail: oksgl0616@mail.ru

Khakimov Ismagil Nasibullovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department, Samara State Agrarian University (Russian Federation, 446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky settlement, Selectionnaya Str., 3V), e-mail: Xakimov_2@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Kashirina Lidiya Grigorievna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), Author ID: 671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-51

THE FUCOSIDE-BASED FODDER ADDITIVES USAGE JUSTIFICATION FOR THE FISH FARMING

Zuev V. A., Koshchaev A. G.

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russia Federation

Corresponding author E-mail: zuev.vyacheslav@ mail.ru

Received 08.04.2026 Submitted 05.05.2026

Abstract

Introduction. The main causes of metabolic disorders in fish in industrial aquaculture, in addition to species and age characteristics, include the use of highly concentrated extruded feeds, high stocking density, stress factors of recirculating water supply, micronutrient imbalances in diets, the lack of effective hepatoprotective

additives, and intensive feeding, ultimately leading to the development of fatty liver degeneration (hepatosis), reduced productivity, and increased mortality. **Object.** The object of the study is a fucoidan-based feed additive extracted from the brown alga *Cystoseira barbata* and its effect on productive performance, survival rate, and the hepatobiliary system of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and common carp (*Cyprinus carpio*). **Materials and methods.** The quantitative content of fucoidan was determined using a spectrophotometric method. Acute and chronic toxicity were studied in rats (GOST 32644-2014) and albino rabbits (GOST 34658-2020). Hematological and biochemical blood analyses of fish were performed using a URIT-5160 Vet hematology analyzer and a DIRUI CS-600 biochemical analyzer. The optimal dosage (1000 mg/kg) was determined on rainbow trout under recirculating aquaculture system (RAS) conditions, while production trials were conducted on carp at the ZIMA peasant farm. **Results and conclusions.** The studies on the justification for using the feed additive established that the 1000 mg/kg dose significantly increases fish survival by 5-8 %, average individual weight by 9,3-16,5 %, gross output by 13,7-35,5 %, and reduces feed conversion ratio by 32,7-52,9 %. The hepatoprotective effect is confirmed by a 60,3 % decrease in AST activity, a 58,2 % decrease in the Ritis ratio, and a 19,5-22,.0 % reduction in liver weight. Inclusion of fucoidan in fish diets at a dose of 1000 mg/kg is recommended for the prevention of fatty hepatosis and improving aquaculture efficiency.

Keywords: *fish feeding, feed additives, fish farming development, feed additive safety, and feed additive toxicity.*

Citation. Zuev V. A., Koshchaev A. G. The fucoside-based fodder additives usage justification for the fish farming. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 456-462. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-51.
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+636.085.57

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ФУКОИДАНА В РЫБОВОДСТВЕ

Зуев В. А., *аспирант*
Кощаев А. Г., *академик РАН, доктор биологических наук, профессор*

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина»
г. Краснодар, Российская Федерация

Актуальность. Основными причинами метаболических нарушений у рыб в промышленной аквакультуре, помимо видовых и возрастных особенностей, являются использование высококонцентрированных экструдированных кормов, высокая плотность посадки, стресс-факторы систем замкнутого водоснабжения, несбалансированность рационов по микронутриентам, отсутствие эффективных гепатопротекторных добавок и интенсивное кормление, в конечном итоге, сопровождающиеся развитием жировой дистрофии печени (гепатоза), снижением продуктивности и повышенным отходом поголовья. **Объект.** Объектом исследований является кормовая добавка на основе фукоидана, выделенного из бурой водоросли *Cystoseira barbata*, и ее влияние на продуктивные показатели, сохранность и гепатобилиарную систему радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) и карпа (*Cyprinus carpio*). **Материалы и методы.** В ходе исследований с использованием спектрофотометрического метода определено количественное содержание фукоидана. Острую и хроническую токсичность изучали на крысах (ГОСТ 32644-2014) и кроликах-альбиносах (ГОСТ 34658-2020). Гематологические и биохимические анализы крови рыб выполнены на гематологическом анализаторе URIT-5160 Vet и биохимическом анализаторе DIRUI CS-600. Оптимальную дозировку (1000 мг/кг) определяли на радужной форели в условиях УЗВ, производственные исследования – на карпе в КФХ «ЗИМА». **Результаты и выводы.** В ходе исследований по обоснованию применения кормовой добавки установлено, что доза 1000 мг/кг достоверно повышает сохранность рыб на 5-8 %, среднештучную массу – на 9,3-16,5 %, валовую продукцию – на 13,7-35,5 % и снижает конверсию корма на 32,7-52,9 %. Гепатопротекторное действие подтверждено снижением активности АСТ на 60,3 %, коэффициента Ритиса – на 58,2 %, массы печени – на 19,5-22,0 %. Рекомендуется включение фукоидана в рацион рыб в дозе 1000 мг/кг для профилактики жирового гепатоза и повышения эффективности аквакультуры.

Ключевые слова: *кормление рыбы, кормовые добавки, развитие рыбоводства, безопасность кормовых добавок, токсичность кормовых добавок.*

Цитирование. Зуев В. А., Кощаев А. Г. Обоснование применения кормовой добавки на основе фукоидана в рыбоводстве. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87) 456-462. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-51.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Развитие аквакультуры является важнейшим направлением обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации. Однако интенсификация рыбоводства, связанная с использованием высококонцентрированных экструдированных кормов, приводит к метаболическим нарушениям у рыб, наиболее распространенным из которых является жировая дистрофия печени (гепатоз), гепатомегалия и, как следствие, снижение продуктивности и повышенный отход поголовья (Landahl J. T. et al., 1990; Hemre G. I., 2002; Woo P. T. K., 2006; Bruno D. W. et al., 2013).

В связи с этим актуальным является поиск эффективных и безопасных кормовых добавок, обладающих гепатопротекторным и иммуномодулирующим действием. Особый интерес представляют сульфатированные гетерополисахариды – фукоиданы, выделяемые из бурых морских водорослей.

Фукоиданы обладают широким спектром биологической активности – антиоксидантной (Wang J. et al., 2008; Pradhan B. et al., 2020), иммуномодулирующей (Zapopozhets T. S. et al., 1995; Zaporozhets T. S. et al., 2006), антибактериальной (Hirmo S. et al., 1995), противовирусной (McClure M. O. et al., 1992) и гепатопротекторной (Lee S. H. et al., 2013; Yang Q. et al., 2014).

В медицине фукоиданы изучены достаточно хорошо, однако их применение в промышленном рыбоводстве, особенно полученных из черноморских видов водорослей рода Cystoseira, представлено в литературе крайне ограниченно (Abdel-Latif H. M. R. et al., 2022; Sony N. M. et al., 2020).

Целью наших исследований являлось получение фукоидана из Cystoseira barbata, изучение его токсикологических и фармакологических свойств, а также обоснование оптимальной дозировки для применения в промышленном рыбоводстве.

Материалы и методы. *Объект исследований*. Кормовая добавка Гепафиш-Ц – сульфатированный гетерополисахарид (фукоидан), изготовленная на основе биомассы бурой водоросли *Cystoseira barbata,* собранной в акватории Малый Ахун г. Сочи (Краснодарский край). Получение фукоидана осуществляли по технологии патента RU 2302429 C1. Количественное его содержание определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре UNICO-2100.

Токсикологические исследования. Работа выполнена в НИЦ Ветфармбиоцентр (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ). Острая токсичность изучена на 40 самках крыс линии Wistar (масса 185-200 г) при внутрижелудочном введении в дозах 1000, 2000, 3000, 4000 и 5000 мг/кг (ГОСТ 32644-2014). Хроническая токсичность (90 суток) – на 60 крысах (самки) в дозах 500 и 1000 мг/кг. Контрольные группы получали дистиллированную воду. Оценивали клиническое состояние, динамику массы тела, общий и биохимический анализ крови (гематологический анализатор URIT-5160 Vet, биохимический DIRUI CS-600), а также массовые коэффициенты внутренних органов. Местно-раздражающее действие изучали на 6 кроликах-альбиносах (накожная проба и конъюнктивальная проба) согласно ГОСТ 34658-2020.

Фармакологические исследования. Определение оптимальной дозы проведено на радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) породы Адлер в условиях УЗВ океанариума «Sochi Discovery World Aquarium». Рыбу разделили на четыре группы (n = 15) – контроль (стандартный рацион) и три опытные (в дозах 500, 1000 и 1500 мг/кг). Длительность опыта составила 30 дней.

Производственные исследования. Опыт выполнен в КФХ «ЗИМА» (Краснодарский край) на годовалом карпе (*Cyprinus carpio*) в трех группах (n = 100) – контроль (стандартный комбикорм), 1-я опытная (1000 мг/кг фукоидана из *C. barbata*), 2-я опытная (1000 мг/кг коммерческого фукоидана из *L. japonica*). Длительность опыта составила 150 суток. Оценивали сохранность, прирост массы, конверсию корма, гематологические и биохимические показатели крови, а также морфологический и химический состав тушек.

Экспериментальные результаты обработаны методом вариационной статистики с использованием программы Microsoft Office Excel 2020. Достоверность различий определяли по критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение. При изучении безопасности добавки было установлено, что содержание фукоидана в препарате варьировало от 2,2 до 2,8 %, что значительно выше, чем в коммерческом аналоге из *Laminaria japonica*. При изучении острой токсичности нами установлено, что введение добавки в дозах до 5000 мг/кг не вызывало гибели или

клинических признаков интоксикации у крыс. Средняя смертельная доза (LD_{50}) превышает 5000 мг/кг, что в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 позволяет отнести Гепафиш-Ц к IV классу опасности (вещества малоопасные).

В хроническом эксперименте (90 суток) клиническое состояние крыс опытных групп не отличалось от контроля (таблица 1). При этом отмечено достоверное повышение живой массы тела во 2-й опытной группе (1000 мг/кг) на 30-е сутки ($p \leq 0,01$) и на 91-е сутки ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Общий прирост массы за 90 суток составил в контроле 75,9 г, в 1-й опытной группе – 80,1 г, во 2-й опытной – 85,5 г (на 12,6 % выше контроля).

Таблица 1 − Результаты влияния кормовой добавки на живую массу лабораторных крыс, n = 20
Table 1 − Results of the effect of the feed additive on the live weight of laboratory rats, n = 20

Показатель / Indicator	Масса тела, г / Body weight, g				Прирост за опыт, г / Experimental gain, g
	1-е сутки / day 1	30-е сутки / 30 days	60-е сутки / 60 days	91-е сутки / 91 days	
Контрольная группа / Control group	200,9 ± 1,6	223,8 ± 2,3	251,2 ± 3,6	276,8 ± 4,9	75,87
Прирост к 1-м суткам, % / Growth by the 1st day, %	−	11,35	24,99	37,75	
1-я опытная группа / Test group 1	201,5 ± 2,0	226,1 ± 2,7	253,7 ± 4,3	281,6 ± 5,2	80,12
Прирост к 1-м суткам, % / Growth by the 1st day, %	−	12,24	25,90	39,77	
2-я опытная группа / Test group 2	204,6 ± 1,5	233,5 ± 2,5**	262,1 ± 4,1	290,1 ± 4,2*	85,46
Прирост к 1-м суткам, % / Growth by the 1st day, %	−	14,10	28,10	41,77	

* − $p \leq 0,05$; ** − $p \leq 0,01$.

Гематологические и биохимические показатели крови опытных крыс находились в пределах физиологической нормы, при этом отмечено достоверное повышение уровня эритроцитов (на 16,5-17,1 %, $p \leq 0,01$) и лейкоцитов (на 14,6-17,8 %, $p \leq 0,01$) по сравнению с контролем. Патологоанатомическое исследование не выявило макроскопических изменений внутренних органов. Местно-раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки глаз отсутствовало. Полученные данные согласуются с результатами исследований безопасности фукоиданов других авторов (Chung H. J. et al., 2010; Gideon T. P., Rengasamy R., 2008).

Определение оптимальной дозировки в исследовании на радужной форели показало, что доза 500 мг/кг не оказывает значимого влияния на продуктивные показатели. При этом дозы 1000 и 1500 мг/кг достоверно повышали сохранность (93,3 % против 80,0 % в контроле), массу (на 9,3 и 9,6 % соответственно, $p \leq 0,05$) и снижали конверсию корма (на 34,9 и 58,4 %). Однако разница между эффектами доз 1000 и 1500 мг/кг была незначительной (прирост массы – 9,3 % против 9,6 %, конверсия – 3,2 против 3,1), что при разнице в дозировке 33 % делает дозу 1000 мг/кг экономически более целесообразной (таблица 2).

В гистологических исследованиях нами установлено, что у форели контрольной группы отмечались жировая дегенерация печени и гепатомегалия, тогда как у рыб опытных групп (1000 и 1500 мг/кг) печень имела нормальную макроструктуру, а ее массовый коэффициент был достоверно ниже контроля на 22,0-22,1 % ($p \leq 0,001$).

Фармакологическая эффективность применение добавки в дозе 1000 мг/кг в рационе форели (30 суток) обеспечивало повышение сохранности с 84 до 92 % (на 8 %), валовую массу – на 13,7 % ($p \leq 0,01$), массу – на 5,8 % ($p \leq 0,01$), а конверсию корма снизило с 5,91 до 2,78 (на 52,9 %).

Таблица 2 − Сохранность и продуктивность радужной форели при определении оптимальной дозировки кормовой добавки на основе фукоидана
Table 2 – Preservation and productivity of rainbow trout when determining the optimal dosage of a fucoidan-based feed additive

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / Control group	1-я опытная (500 мг/кг) / Test group 1 (500 mg/kg)	2-я опытная (1000 мг/кг) / Test group 2 (1000 mg/kg)	3-я опытная (1500 мг/кг) / Test group 3 (1500 mg/kg)
Голов на начало эксперимента / Units at the beginning of the experiment	15	15	15	15
Голов на конец эксперимента / Units at the end of the experiment	12	13	14	14
Сохранность, % / Safety, %	80,0	86,7	93,3	93,3
В среднем, поголовье за опыт, гол. / On average, livestock per experiment	12,8	13,9	14,7	14,6
Валовая масса на начало опыта, г / Gross weight at the beginning of the experiment, g	4532,9	4529,4	4539,4	4546,1
Валовая масса на конец опыта, г / Gross weight at the end of the experiment, g	3846,1	4192,4	4630,9	4649,5
к началу опыта, % / towards the beginning of the experiment, %	– 15,15	– 7,44	+ 2,02	+ 2,27
к контролю, % / to control, %	−	+ 7,71	+ 17,17	+ 17,42
Среднештучная масса тела на начало опыта, г / Average body weight at the beginning of the experiment, g	302,2 ± 2,6	301,9 ± 3,5	302,6 ± 3,1	303,1 ± 2,8
Среднештучная масса тела на 30-е сут опыта, г / Average body weight on the 30th day of the experiment, g	320,5 ± 3,6	322,5 ± 4,3	330,8 ± 3,0*	332,1 ± 3,1**
Прирост, г / Growth, g	18,3	20,5	28,1	29,0
Прирост, % / Growth, %	6,1	6,8	9,3	9,6
Прирост к контролю, % / Gain in control, %	−	+ 0,74	+ 3,24	+ 3,52
Потрачено корма на группу, г / Feed consumption per group, g	1155	1248	1323	1311
Потрачено корма на 1 гол., г / Feed consumed per 1 unit, g	90,0	89,9	90,0	89,9
Конверсия корма / Feed conversion	4,91	4,38	3,20	3,10
к контролю, % / to control, %	−	– 10,79	– 34,89	– 58,39
* − p ≤ 0,05; ** − p ≤ 0,01				

Опыты на карпе (150 суток) показали, что сохранность в опытной группе составила 98 % против 93 % в контроле, среднештучная масса – 448,9 г против 385,3 г (прирост 16,5 %, p ≤ 0,001), валовый прирост – 30,2 кг против 22,3 кг (на 35,5 %), конверсия корма снизилась с 5,62 до 3,78 кг (на 32,7 %). Экстерьерные показатели у опытной рыбы были достоверно выше (таблица 3). Так, абсолютная длина тела форели увеличилась на 7,3 % (p ≤ 0,001), высота тела – на 13,6 % (p ≤ 0,001).

Изучение гематологических и биохимических показателей у форели, потреблявшей изучаемую кормовую добавку, показало достоверное повышение содержания гемоглобина (на 17,0 %, p ≤ 0,05), эритроцитов (на 19,4 %, p ≤ 0,001) и лейкоцитов (на 27,5 %, p ≤ 0,001) по сравнению с контролем. У карпа опытной группы активность аспартатаминотрансферазы снизилась на 60,3 % (p ≤ 0,01), а коэффициент Ритиса – на 58,2 % (p ≤ 0,01), что свидетельствует об отсутствии цитолиза гепатоцитов.

Таблица 3 – Динамика живой массы тела карпа, потреблявшего кормовую добавку на основе фукоидана
Table 3 – Dynamics of live body weight of carp consuming a fucoidan-based feed additive

Сутки эксперимента / Day of the experiment	Группа / Group		
	1-я контрольная / control group 1	опытная / test group	2-я контрольная / control group 2
1	135,76 ± 2,24	138,26 ± 2,23	136,67 ± 2,25
к контролю, % / to control, %	–	1,84	0,67
30	163,18 ± 5,41	173,29 ± 5,89	175,74 ± 5,49
к контролю, % / to control, %	–	6,20	7,70
60	202,45 ± 6,65	222,95 ± 7,76*	222,44 ± 6,68*
к контролю, % / to control, %	–	10,13	9,87
90	251,57 ± 8,19	288,03 ± 10,01**	283,65 ± 8,40**
к контролю, % / to control, %	–	14,49	12,75
120	311,17 ± 10,36	375,57 ± 13,82***	358,63 ± 10,56**
к контролю, % / to control, %	–	20,70	15,25
150	385,34 ± 7,03	448,93 ± 7,40***	427,82 ± 7,66***
к контролю, % / to control, %	–	16,50	11,02
* – p ≤ 0,05; ** – p ≤ 0,01; *** – p ≤ 0,001			

Нами показано, что уровень общего белка в сыворотке крови карпа опытной группы был выше контроля на 9,6 %, альбумина – на 5,8 %, а лактатдегидрогеназы снизился на 21,8 % (p ≤ 0,05). При этом масса печени у карпа в опытной группе была на 19,5 % меньше (p ≤ 0,01), а массовый коэффициент печени – на 22,0 % в сравнении с контролем, что подтверждает гепатопротекторное действие фукоидана. Проведенный нами химический анализ мяса карпа показал повышение содержания белка на 3,6 % и жира – на 5,7 % в опытной группе по сравнению с контролем.

Заключение. Результаты исследований показали, что кормовая добавка Гепафиш-Ц на основе фукоидана из *Cystoseira barbata* является безопасной (IV класс опасности), не обладает местно-раздражающим действием и не проявляет хронической токсичности. Оптимальной дозировкой для включения в рацион рыб является 1000 мг/кг живой массы тела. Применение добавки в рационе радужной форели и карпа достоверно повышает сохранность поголовья (на 5-8 %), среднесуточный прирост (на 5,8-16,5 %), валовую продукцию (на 13,7-35,5 %) и снижает конверсию корма (на 32,7-52,9 %).

Кроме того, изучаемая кормовая добавка на основе фукоидана оказывает выраженное гепатопротекторное действие, нормализуя морфо-биохимические показатели крови (снижение АСТ, коэффициента Ритиса, ЛДГ, уменьшение массы печени) и предотвращая развитие жировой дистрофии печени, характерной для высокоинтенсивного кормления.

Таким образом, кормовая добавка Гепафиш-Ц может быть рекомендована для использования в промышленном рыбоводстве в качестве эффективного и безопасного средства повышения продуктивности и профилактики метаболических нарушений печени.

Conclusion. The research results showed that the feed additive Gepafish-C based on fucoidan from Cystoseira barbata is safe (IV hazard class), does not have a local irritating effect, and does not exhibit chronic toxicity. The optimal dosage for inclusion in the fish diet is 1000 mg/kg of live body weight. The use of the additive in the diet of rainbow trout and carp significantly increases the survival rate (by 5-8 %), average daily growth (by 5.8-16.5 %), gross production (by 13.7-35.5 %), and reduces feed conversion (by 32.7-52.9 %).

In addition, the studied feed additive based on fucoidan has a pronounced hepatoprotective effect, normalizing the morpho-biochemical parameters of blood (decreasing AST, the Ritis coefficient, LDH, and reducing liver weight) and preventing the development of fatty liver dystrophy, which is typical for high-intensity feeding.

Thus, the feed additive Gepafish-Ts can be recommended for use in industrial fish farming as an effective and safe means of increasing productivity and preventing metabolic disorders of the liver.

Библиографический список / References

1. Abdel-Latif H. M. R., Dawood M. A. O., Alagawany M., Faggio C., Nowosad J., Kucharczyk D. Health benefits and potential applications of fucoidan (FCD) extracted from brown seaweeds in aquaculture: an updated review. Fish Shellfish Immunol. 2022. V. 122. Pp. 115-130.
2. Bruno D. W., Noguera P. A., Poppe T. T. The color atlas of salmonid diseases. Springer Dordrecht Heidelberg, 2013. 220 p.
3. Chung H. J., Jeun J., Houng S. J. et al. Toxicological evaluation of fucoidan from Undaria pinnatifida in vitro and in vivo. Phytother Res. 2010. V. 24 (7). Pp. 1078-1083.
4. Dische Z., Shettles L. B. A. Specific colour reaction of methyl pentoses and a spectrophotometric micro method for their determination. J. Biol. Chem. 1948. V. 175. Pp. 595-603.
5. Gideon T. P., Rengasamy R. Toxicological evaluation of fucoidan from Cladosiphon okamuranus. J Med Food. 2008. V. 11 (4). Pp. 638-642.
6. Hemre G. I. The Effect of Antibiotics on Growth, Feed Conversion and Nutrient Digestibility in Atlantic Salmon. Aquacult. Nutr. 2002. Pp. 175-194.
7. Hirmo S., Utt M., Ringner M., Wadstrom T. Inhibition of heparan sulfate and other glycosaminoglycans binding to Helicobacter pylori by various polysulfated carbohydrates. FEMS Immunol. Med. Microbiol. 1995. V. 10. Pp. 301-306.
8. Landahl J. T., McCain B. B., Myers M. S., Rhodes L. D. Consistent associations between hepatic lesions in English sole (Parophrys vetulus) and polycyclic aromatic hydrocarbons in bottom sediment. Environ Health Perspect. 1990. Pp. 195-203.
9. Lee S. H., Ko C. I., Jee Y., Jeong Y., Kim M. et al. Anti-inflammatory effect of fucoidan extracted from Ecklonia cava in zebrafish model. Carbohydr. Polym. 2013. V. 92. Pp. 84-89.
10. McClure M. O., Moore J. P., Blanc D. F., Scotting P. et al. Investigations into the mechanism by which sulfated polysaccharides inhibit HIV infection in vitro. AIDS Res. Hum. Retroviruses. 1992. V. 8. Pp. 19-26.
11. Pradhan B., Patra S., Nayak R., Behera C., Dash S. R. et al. Multifunctional role of fucoidan, sulfated polysaccharides in human health and disease: A journey under the sea in pursuit of potent therapeutic agents. Int. J. Biol. Macromol. 2020. V. 1. Pp. 4263-4278.
12. Sony N. M., Hossain M. S., Ishikawa M., Koshio S., Yokoyama S. Efficacy of mozuku fucoidan in alternative protein-based diet to improve growth, health performance, and stress resistance of juvenile red sea bream, Pagrus major. Fish Physiol Biochem. 2020. V. 46 (6). Pp. 2437-2455.
13. Wang J., Zhang Q., Zhang Z., Li Z. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fractions extracted from Laminaria japonica. Int. J. Biol. Macromol. 2008. V. 42. Pp. 127-132.
14. Woo P. T. K. Fish Diseases and Disorders. Protozoan and Metazoan Infections. Cambridge: CAB International, 2006. V. 1. 800 p.
15. Yang Q., Yang R., Li M., Zhou Q., Liang X., Elmada Z. C. Effects of dietary fucoidan on the blood constituents, anti-oxidation and innate immunity of juvenile yellow catfish (Pelteobagrus fulvidraco). Fish Shellfish Immunol. 2014. V. 41. Pp. 264-270.
16. Zaporozhets T. S., Kuznetsova T. A., Smolina T. P., Shevchenko N. M. et al. Immunotropic and anticoagulant activity of fucoidan from brown seaweed Fucus evanescens: prospects of application in medicine. J. Microbiology. 2006. Pp. 54-58.
17. Zapopozhets T. S., Besednova N. N., Loenko I. N. Antibacterial and immune modulating activity of fucoidan. Antibiot. Khimioter. 1995. V. 40. Pp. 9-13.

Информация об авторах

Зуев Вячеслав Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), e-mail: zuev.vyacheslav@ro.ru

Кощаев Андрей Георгиевич, академик РАН, 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

Authors' Information

Zuev Vyacheslav Aleksandrovich, Postgraduate Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinina Str., 13), e-mail: zuev.vyacheslav@ro.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), e-mail: kagbio@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-52

THE AGE-RELATED DYNAMICS OF THE JERSEY COWS' MILK PRODUCTION

[1]Kulenko V. O., [1]Chekhranova S. V., [1]Nikolaev S. I., [1]Vodyannikova V. V., [2]Krikunov N. A., [1]Karapetyan A. K., [1]Shapovalov S. O., [3]Kashirina L. G.

[1]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[2]Molvest JSC
Voronezh, Russian Federation
[3]Ryazan State Technical University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: schekhranova@mail.ru

Received 16.02.2026 Submitted 05.06.2026

The study was conducted within the framework of the agreement dated 14.05.2018 no. D/A-2429-18 on the topic: "The effect of using a granular mineral and vitamin complex in cattle diets".

Abstract

Introduction. The lactation activity of cows has a general pattern depending on age, increasing before the onset of full-age 3-4 lactation and then decreasing. The purpose of the research is to study the dynamics of milk productivity of Jersey cows during the first four lactation periods. **Materials and methods.** The primary

material for assessing the milk productivity of Jersey cows, depending on age, was data obtained from the reports of the Selex system in the conditions of an enterprise owned by the «Molwest» company of the Voronezh Region. In the course of the research, digital material was analyzed and biometrically processed on the milk yield of cows for 305 days of lactation, the content and yield of fat and milk protein, depending on the lactation number and the linear affiliation of cows. The total number of cows participating in the research was 268, of which 139 cows belonged to the Glenmore line 157911, 5 cows to the Jester line 534585, 124 cows to the Secret Signal Observer line 553236. **Results and conclusions.** With age, Jersey breed cows, regardless of their lineage, tend to be lactating profusely up to the 3rd lactation. The reliable superiority in milk yield for 305 days following the results of the 3rd lactation over the results of the 1st lactation in cows on the Glenmore 157911 line was 17.82 %, the Secret Signal Observer 553236 line was 19.68 %. At the same time, it should be noted that cows of the Secret Signal Observer 553236 line showed a significant increase in milk yields up to the 3rd lactation and the preservation of this indicator at almost the same level by the 4th lactation. In this regard, cows of this line, according to the results of the 3rd and 4th lactation, had some advantages in the release of fat and protein with milk. Thus, the research revealed a significant influence of the age of cows on both milk yield and milk quality.

Keywords: cows *dairy productivity, dairy productivity age dynamics, Jersey cows, Jersey cattle breed.*

Citation. Kulenko V. O., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Krikunov N. A., Karapetyan A. K., Shapovalov S. O., Kashirina L. G. The age-related dynamics of the Jersey cows' milk production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 462-471 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-52.

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

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.2.034

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРОВ ДЖЕРСЕЙСКОЙ ПОРОДЫ

[1]**Куленко В. О.,** *аспирант*
[1]**Чехранова С. В.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[1]**Николаев С. И.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]**Водянникова В. В.,** *доктор биологических наук, доцент*
[2]**Крикунов Н. А.,** *кандидат сельскохозяйственных наук*
[1]**Карапетян А. К.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[1]**Шаповалов С. О.,** *доктор биологических наук*
[3]**Каширина Л. Г.,** *доктор биологических наук, профессор*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[2]АО «Молвест»
г. Воронеж, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Рязанский ГАТУ имени П. А. Костычева
г. Рязань, 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. Лактационная деятельность коров имеет общую закономерность в зависимости от возраста, повышаясь до наступления полновозрастной 3-4 лактации и затем снижаясь. Цель исследований – изучение динамики молочной продуктивности коров джерсейской породы за первые четыре лактации. **Материалы и методы.** Первичным материалом для оценки молочной продуктивности коров джерсейской породы в зависимости от возраста служили данные, полученные из отчетов системы «Селэкс» в условиях предприятия, принадлежащего компании «Молвест» Воронежской области. В ходе исследований был проанализирован и биометрически обработан цифровой материал по удою коров за 305 дней лактации, содержанию и выходу жира и белка молока в зависимости от номера лактации и линейной принадлежности коров. Общее поголовье коров, участвовавших в исследованиях, составило 268 голов, из них 139 коров, принадлежащих к линии Гленмор 157911, 5 коров – к линии Джестер 534585, 124 коровы – к линии Секрет Сигнал Обсервер 553236. **Результаты и выводы.** С возрастом у коров джерсейской породы независимо от их линейной принадлежности имеется тенденция к обильномолочности вплоть до 3-й лактации. Достоверное превосходство по удою за 305 дней по итогам 3-й лактации над результатами 1-й лактации у коров по линии Гленмор 157911 составило 17,82 %, линии Секрет Сигнал Обсервер 553236 – 19,68 %. При этом стоит отметить, что у коров линии Секрет Сигнал Обсервер 553236 наблюдалось достоверное повышение удоев до 3-й лактации и сохранение к 4-й лактации данного показателя практически на том же уровне. В

связи с этим, коровы данной линии по результатам 3-й и 4-й лактации имели некоторые преимущества по выходу жира и белка с молоком. Таким образом, в ходе исследований обнаружено достоверное влияние возраста коров как на удой, так и на качественные показатели молока.

Ключевые слова: *молочная продуктивность коров, возрастная динамика молочной продуктивности, коровы джерсейской породы, джерсейская порода КРС.*

Цитирование. Куленко В. О., Чехранова С. В., Николаев С. И., Водянникова В. В., Крикунов Н. А., Карапетян А. К., Шаповалов С. О., Каширина Л. Г. Возрастная динамика молочной продуктивности коров джерсейской породы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 462-471. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-52.
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. Обеспечение населения страны продуктами питания животного происхождения собственного производства – важная задача, стоящая перед работниками животноводства. Большое внимание при этом уделяется развитию молочного скотоводства, от которого мы получаем ценные продукты питания и сырье для молочной и мясной промышленности – молоко и говядину [2].

По мнению Зенковой Н. В., главным направлением развития молочного животноводства в России на современном этапе является его дальнейшая интенсификация за счет повышения продуктивных и племенных качеств разводимого скота, а также увеличения эффективности производственного использования наиболее ценных животных. Центральное место при внедрении интенсивных технологий занимает племенная работа [3].

Важнейшая задача племенного дела сегодня – дальнейшее генетическое совершенствование разводимых пород животных. Этот процесс сводится не только к выявлению лучших генотипов, но и к их максимальному использованию в воспроизводстве популяций [8].

Популяции крупного рогатого скота молочных пород являются постоянно меняющимися объектами под влиянием селекционно-племенной работы, внедрения новых генотипов, изменения условий содержания и кормления. Меняется численность популяции, возрастная структура, характеристики хозяйственно-полезных признаков животных, селекционно-генетические параметры. Все это оказывает влияние на состояние популяции и требует постоянного наблюдения, изучения с целью определения направлений дальнейшего её развития [1].

Многочисленными исследованиями установлено, что одним из паратипических факторов, влияющих на продуктивность коров, является возраст. Принято считать, что с возрастом удои коров равномерно увеличиваются до определенного максимума, затем постепенно уменьшаются, что обусловлено секреторной деятельностью молочной железы и биологической особенностью организма [6, 9].

В практике скотоводства принято сравнивать показатели молочной продуктивности молодых коров с продуктивностью «полновозрастных» коров, так как с возрастом молочная продуктивность растёт, затем стабилизируется на определённом максимуме и со старением животного снижается [4, 12].

Одной из недостаточно изученных пород крупного рогатого скота в России являются джерсейская. Продуктивность коров данной породы не так высока по сравнению с коровами той же голштинской породы, однако среди достоинств следует отметить более высокое содержание в молоке массовой доли жира и белка [5, 11].

На основании вышесказанного целью исследований стало изучение динамики молочной продуктивности коров джерсейской породы за первые четыре лактации.

Материалы и методы. В качестве объекта исследований были выбраны коровы джерсейской породы, имеющие четыре законченные лактации. Первичным материалом для оценки молочной продуктивности коров в зависимости от возраста служили данные, полученные на основании отчетов из информационно-аналитической системы «Селэкс» в условиях предприятия Воронежской области, принадлежащего компании «Молвест». В ходе исследований был проанализирован и биометрически обработан цифровой материал по удою джерсейских коров за 305 дней лактации, содержанию и выходу жира и белка молока в зависимости от номера лактации и линейной принадлежности коров с установлением достоверности разницы по критериям Стьюдента. Общее поголовье коров, участвовавших в исследованиях, составило 268 голов, из них 139 коров, принадлежащих к линии

Гленмор 157911, 5 коров – к линии Джестер 534585, 124 коровы – к линии Секрет Сигнал Обсервер 553236. Был произведен расчет стандартного отклонения и коэффициентов вариации по всем анализируемым показателям.

Результаты исследований и их обсуждение. А. С. Горелик, О. В. Горелик, М. Б. Ребезов, С. Ю. Харлап пришли к выводу, что лактационная деятельность коров имеет общую закономерность в зависимости от возраста, повышаясь до наступления полновозрастной 3-4 лактации и затем снижаясь [10].

Данные о динамике молочной продуктивности джерсейских коров за первые четыре лактации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Молочная продуктивность за четыре первых лактации
Table 1 – Milk production for the first four months

Показатель / Indicator	Параметры / Parameters		
	X ± Sx	Σ ± $m_σ$	Cv ± m_{Cv}, %
1 лактация / lactation 1			
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	5626,29 ± 61,41	1003,37 ± 43,42	17,83 ± 0,77
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	6,04 ± 0,03	0,51 ± 0,02	8,36 ± 0,36
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	3,68 ± 0,01	0,22 ± 0,01	6,00 ± 0,26
Выход жира, кг / Fat yield, kg	338,14 ± 4,06	66,46 ± 2,87	19,65 ± 0,85
Выход белка, кг / Protein yield, kg	206,45 ± 2,53	41,41 ± 1,79	20,06 ± 0,87
2 лактация / lactation 2			
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	6420,48 ± 72,83***	1120,30 ± 51,50	18,57 ± 0,80
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	6,11 ± 0,03	0,44 ± 0,02	7,21 ± 0,31
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	3,89 ± 0,02***	0,33 ± 0,01	8,37 ± 0,36
Выход жира, кг / Fat yield, kg	391,15 ± 4,50***	73,61 ± 3,18	18,82 ± 0,81
Выход белка, кг / Protein yield, kg	250,18 ± 3,34***	54,64 ± 2,36	21,84 ± 0,94
3 лактация / lactation 3			
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	6656,56 ± 67,02*	1097,20 ± 47,39	16,48 ± 0,71
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	5,91 ± 0,02***	0,33 ± 0,01	5,60 ± 0,24
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	4,23 ± 0,02***	0,35 ± 0,02	8,28 ± 0,36
Выход жира, кг / Fat yield, kg	393,48 ± 4,16	68,03 ± 2,94	17,29 ± 0,75
Выход белка, кг / Protein yield, kg	281,90 ± 3,23***	52,90 ± 2,28	18,77 ± 0,81
4 лактация / lactation 4			
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	6621,18 ± 85,26	1395,73 ± 60,29	21,08 ± 0,91
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	5,66 ± 0,02***	0,40 ± 0,02	7,04 ± 0,30
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	4,34 ± 0,01***	0,16 ± 0,01	3,74 ± 0,16
Выход жира, кг / Fat yield, kg	374,11 ± 4,93**	80,69 ± 3,49	21,57 ± 0,93
Выход белка, кг / Protein yield, kg	287,00 ± 3,73	61,03 ± 2,64	21,26 ± 0,92

Примечание: достоверность разницы по отношению к предыдущей лактации *P > 0,95; **P > 0,99; ***P > 0,999.
Note: the significance of the difference compared to the previous lactation *P > 0.95; **P > 0.99; ***P > 0.999.

По результатам 1-й лактации коровы имели удой за 305 дней на уровне 5626,29 кг при среднем квадратическом отклонении 1003,37 кг и коэффициенте вариации 17,83 %, что свидетельствует об умеренной вариабельности данного признака. Массовая доля жира в молоке коров-первотёлок была на уровне 6,04 %, но с меньшей вариабельностью признака (Cv = 8,36 %). На достаточно высоком уровне отмечалось содержание в молоке белка, 3,68 % при слабой вариации (Cv = 6,00 %). Выход жира и белка с молоком по результатам первой лактации составил 391,15 кг и 250,18 кг соответственно.

По итогам 2-й лактации отмечается увеличение всех изучаемых показателей. Так, достоверное (P > 0,999) повышение удоя за 305 дней лактации составило 794,19 кг, или 14,12 %. Массовая доля жира в молоке оказалась на уровне 6,11 % при слабом уровне вариабельности 7,21 %. Разница по данному признаку по сравнению с предыдущей лактацией составила 0,07 процентных пункта. Содержание белка в молоке коров по 2-й лактации оказалось равным 3,89 %, что достоверно (P > 0,999) выше аналогичного показателя на 0,19 процентных пункта. Наряду с повышением удоев и концентрации в молоке составных частей, отмечается достоверное (P > 0,999) увеличение выхода жира и белка с молоком соответственно на 53,04 кг (15,68 %) и 43,73 кг (21,18 %).

К 3-й лактации удой за 305 дней оказался на уровне 6656,56 кг, что достоверно (P > 0,95) выше аналогичного показателя за предыдущую лактацию на 236,08 кг, или 3,68 %. Вариабельность данного показателя была умеренной, что подтверждается коэффициентом вариации, равным 16,48 %. При увеличении удоев отмечается достоверное (P > 0,999) снижение жира в молоке на 0,20 процентных пункта, что отражается на выходе жира с молоком, который оказался на уровне 393,48 кг, что выше, чем за предыдущую лактацию всего лишь 2,33 кг. Обратная ситуация была отмечена по концентрации белка, его повышение составило 0,34 процентных пункта (P > 0,999), что привело к достоверному увеличению выхода белка на 31,72 кг (12,68 %).

Удой коров за 305 дней 4-й лактации значительных изменений по сравнению с предыдущей не имел и составил 6621,18 кг, что ниже, чем по результатам 3-й лактации на 35,38 кг. К 4-й лактации произошло снижение жира в молоке коров до 5,66 %, что достоверно (P > 0,999) ниже, чем за предыдущую лактацию, на 0,25 процентных пункта. А содержание белка в молоке продолжило увеличиваться и составило 4,34 %, повышение произошло на 0,11 процентных пункта (P > 0,999). За счет снижения массовой доли жира в молоке, произошло достоверное (P > 0,99) уменьшение выхода жира на 19,37 кг, по выходу белка достоверных изменений отмечено не было, однако к 4 лактации этот показатель оказался выше на 5,10 кг.

При организации селекционной работы в скотоводстве важное значение имеет проведение оценки молочной продуктивности коров, принимая во внимание данные об их происхождении (генотипе), поскольку признаки молочной продуктивности наследуются потомками от их родителей, а также возраст животных [7].

В связи с этим была изучена динамика молочной продуктивности коров джерсейской породы в зависимости от их линейной принадлежности, что отражено в таблице 2. Стоит отметить, что анализируемое стадо джерсейских коров по происхождению представлено тремя линиями: Гленмор 157911, Джестер 534585, Секрет Сигнал Обсервер 553236.

Таблица 2 – Молочная продуктивность за четыре первых лактации в зависимости от линейной принадлежности

Table 2 – Milk production during the first four lactations, depending on the line

Показатель / Indicator	Параметры / parameters	№ лактации / lactation No			
		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Линия Гленмор 157911 (n = 139) / Glenmore Line 157911 (n = 139)					
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	X ± Sx	5630,27 ± 84,93	6628,79 ± 92,61	6633,86 ± 95,98	6571,60 ± 120,87
	Cv ± m_{Cv}, %	17,78 ± 1,07	16,47 ± 0,99	17,06 ± 1,02	21,68 ± 85,47
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	X ± Sx	6,03 ± 0,04	6,11 ± 0,04	5,90 ± 0,03	5,65 ± 0,04
	Cv ± m_{Cv}, %	8,64 ± 0,52	7,12 ± 0,43	5,40 ± 0,32	7,37 ± 0,44
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	X ± Sx	3,66 ± 0,02	3,92 ± 0,03	4,24 ± 0,03	4,32 ± 0,01
	Cv ± m_{Cv}, %	5,86 ± 0,35	8,98 ± 0,54	8,14 ± 0,49	3,82 ± 0,23
Выход жира, кг / Fat yield, kg	X ±Sx	339,32 ± 5,52	403,34 ± 5,46	391,16 ± 5,89	271,09 ± 7,04
	Cv ± m_{Cv}, %	19,17 ± 1,15	15,97 ± 0,96	17,75 ± 1,06	22,37 ± 1,34
Выход белка, кг / Protein yield, kg	X ± Sx	205,88 ± 3,20	260,72 ± 4,49	282,13 ± 4,73	283,78 ± 5,26
	Cv ± m_{Cv}, %	18,33 ± 1,10	20,29 ± 1,22	19,78 ± 1,19	21,84 ± 1,31

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Линия Джестер 534585 (n = 5) / Jester Line 534585 (n = 5)					
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	X ± Sx	6005,50 ± 708,59	6262,60 ± 465,08	5970,00 ± 822,59	5822,60 ± 523,82
	Cv ± m_{Cv}, %	26,38 ± 8,34	16,61 ± 5,25	30,81 ± 9,74	20,12 ± 6,36
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	X ± Sx	6,08 ± 0,16	6,55 ± 0,12	6,06 ± 0,15	5,50 ± 0,19
	Cv ± m_{Cv}, %	5,99 ± 1,89	4,07 ± 1,29	5,40 ± 1,71	7,90 ± 2,50
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	X ± Sx	3,67 ± 0,05	3,91 ± 0,15	4,32 ± 0,13	4,40 ± 0,06
	Cv ± m_{Cv}, %	3,08 ± 0,97	8,35 ± 2,64	6,50 ± 2,06	3,00 ± 0,95
Выход жира, кг / Fat yield, kg	X ±Sx	366,12 ± 45,70	410,27 ± 32,61	362,33 ± 50,65	323,22 ± 37,90
	Cv ± m_{Cv}, %	27,91 ± 8,83	17,77 ± 5,62	31,26 ± 9,89	26,22 ± 8,29
Выход белка, кг / Protein yield, kg	X ± Sx	220,46 ± 25,79	247,64 ± 27,30	255,53 ± 32,85	256,93 ± 25,16
	Cv ± m_{Cv}, %	26,15 ± 8,27	24,65 ± 7,79	28,75 ± 9,09	21,90 ± 6,92
Линия Секрет Сигнал Обсервер 553236 (n = 124) / Line Secret Signal Observer 553236 (n = 124)					
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg	X ± Sx	5606,38 ± 88,91	6193,34 ± 113,99	6709,70 ± 91,76	6708,97 ± 122,78
	Cv ± m_{Cv}, %	17,59 ± 1,12	20,49 ± 1,30	15,23 ± 0,97	20,38 ± 1,29
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %	X ± Sx	6,06 ± 0,04	6,09 ± 0,04	5,92 ± 0,03	5,67 ± 0,03
	Cv ± m_{Cv}, %	8,17 ± 0,52	7,31 ± 0,46	5,83 ± 0,37	6,66 ± 0,42
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %	X ± Sx	3,71 ± 0,02	3,84 ± 0,03	4,22 ± 0,03	4,35 ± 0,01
	Cv ± m_{Cv}, %	6,18 ± 0,39	7,53 ± 0,48	8,52 ± 0,54	3,66 ± 0,23
Выход жира, кг / Fat yield, kg	X ±Sx	335,69 ± 6,00	376,72 ± 7,26	397,33 ± 5,79	379,55 ± 6,97
	Cv ± m_{Cv}, %	19,90 ± 1,26	21,47 ± 1,36	16,23 ± 1,03	20,45 ± 1,30
Выход белка, кг / Protein yield, kg	X ± Sx	206,52 ± 4,02	238,47 ± 4,88	282,71 ± 4,38	291,82 ± 5,39
	Cv ± m_{Cv}, %	21,69 ± 1,38	22,81 ± 1,45	17,24 ± 1,09	20,57 ± 1,31

Стоит отметить, что закономерности, определенные по общему стаду, прослеживаются и по группам коров, разбитых по линиям. К общим тенденциям можно отнести повышение удоев до 3-й лактации, повышение жирности молока до 2-й лактации, и последующее его снижение, увеличение массовой доли белка с каждой последующей лактацией.

По всем показателям наилучшие значения имеют коровы, принадлежащие к линии Джестер 534585, однако данная группа представлена всего 5-ю коровами, что затрудняет объективное сравнение коров этой линии с двумя другими группами животных. В связи с этим дальнейшее изучение изменения молочной продуктивности в зависимости от лактации было проведено по группам коров, происходивших от отцов линий Гленмор 157911 и Секрет Сигнал Обсервер 553236 (таблица 3).

Удой коров линии Гленмор 157911 по результатам первой лактации составил 5630,27 кг, у коров линии Секрет Сигнал Обсервер 553236 – 5606,38. Ко 2-й лактации по обеим группам коров наблюдалось достоверное повышение данного признака. У коров первой линии увеличение произошло на 998,53 кг, или 17,74 % (P > 0,999), у коров-сверстниц другой линии удой повысился на 586,96 кг, или 10,47 % (P > 0,999). Дальнейшая динамика, сравнивая по линиям, имеет некоторые отличия. У коров линии Гленмор 157911 удой к 3-й лактации по сравнению с предыдущей практически не изменился (+5,06 кг), а к 4-й лактации снизился на 62,26 кг. У коров линии Секрет Сигнал Обсервер 553236 удой повышался до 3-й лактации. По сравнению с результатами 2-й лактации увеличение составило 516,36 кг, или 8,34 % (P > 0,999). К 4-й лактации удой остался практически на том же уровне, 6708,97 кг.

Массовая доля жира в молоке коров первотёлок оказалась на уровне 6,03 % и 6,06 % соответственно изучаемым линиям. Ко 2-й лактации данный показатель повысился на 0,08 процентных пункта у коров линии Гленмор 157911 и на 0,03 процентных пункта в молоке их сверстниц. Однако к следующим лактациям наблюдалось достоверное снижение данного компонента в молоке коров обеих линий. К 4-й лактации жирность молока составляла у коров линии Гленмор 157911 – 5,65 %, у их сверстниц линии Секрет Сигнал Обсервер 553236 – 5,67 %.

Таблица 3 – Изменение молочной продуктивности четыре первых лактации в зависимости от линейной принадлежности коров
Table 3 – Changes in milk production during the first four lactations, depending on the line of origin of the cows

Изменение / Change	Линия / Line			
	Линия Гленмор 157911 / Glenmore Line 157911		Линия Секрет Сигнал Обсервер 553236 / Secret Signal Observer Line 553236	
	Разность средних / Difference in means	Критерий достоверности, td / Confidence interval, td	Разность средних / Difference in means	Критерий достоверности, td / Confidence interval, td
Удой за 305 дней лактации, кг / Milk yield for 305 days of lactation, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+998,53	7,946	+586,96	4,060
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+5,06	0,038	+516,36	3,529
Между 3-й и 4-й лактациями / Between the 3rd and 4th lactations	-62,26	0,403	-0,73	0,005
Массовая доля жира, % / Mass fraction of fat, %				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+0,08	1,414	+0,03	0,530
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	-0,21	4,200	-0,17	3,400
Между 3-й и 4-й лактациями / Between the 3rd and 4th lactations	-0,25	5,000	-0,25	5,893
Выход жира, кг / Fat yield, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+64,02	8,246	+41,03	4,356
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	-12,18	1,517	+20,61	2,219
Между 3-й и 4-й лактациями / Between the 3rd and 4th lactations	-20,07	2,187	-17,78	1,962
Массовая доля белка, % / Mass fraction of protein, %				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+0,26	7,211	+0,13	3,606
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+0,32	7,542	+0,38	8,957
Между 3-й и 4-й лактациями / Between the 3rd and 4th lactations	+0,08	2,530	+0,13	4,111
Выход белка, кг / Protein yield, kg				
Между 1-й и 2-й лактациями / Between the 1st and 2nd lactations	+54,84	9,946	+31,95	5,053
Между 2-й и 3-й лактациями / Between the 2nd and 3rd lactations	+21,41	3,283	+44,25	6,747
Между 3-й и 4-й лактациями / Between the 3rd and 4th lactations	+1,65	0,233	+9,11	1,312

Примечание: достоверность разницы *P > 0,95 при t_d > 1,97; **P > 0,99 при t_d > 2,60; ***P > 0,999 при t_d > 3,34.
Note: the significance of the difference *P > 0.95 at td > 1.97; **P > 0.99 at td > 2.60; ***P > 0.999 at td > 3.34.

В связи с повышением жирности молока ко 2-й лактации, отмечалось достоверное увеличение выхода жира с молоком, который по результатам 1-й лактации был на уровне 339,32 кг и 335,69 кг. Ко 2-й лактации данный показатель увеличился на 64,02 кг, или 18,87 % (P > 0,999) и на 41,03 кг, или 12,22 % (P > 0,999). Выход жира к 3-й лактации у коров линии Гленмор 157911 снизился на 12,18 кг, а к 4-й лактации – на 20,07 кг (P > 0,95). У коров-сверстниц с молоком выход жира достоверно увеличивался к 3-й лактации, повышение составило 20,61 кг (P > 0,95), а к 4-й лактации данный показатель снизился на 17,78 кг.

Массовая доля белка в молоке коров линии Гленмор 157911 по результатам первой лактации была на уровне 3,66 %. Далее происходило достоверное увеличение вплоть до 4-й лактации. По отношению к предыдущей ко 2-й лактации белок в молоке повысился на 0,26 процентных пункта (P > 0,999), к 3-й лактации – на 0,32 процентных пункта (P > 0,999), к 4-й лактации – на 0,08 процентных пункта (P > 0,95). Аналогичная картина происходила с данным показателем и в молоке коров линии Секрет Сигнал Обсервер 553236. Увеличение составляло 0,13 процентных пункта (P > 0,99), 0,38 процентных пункта (P > 0,999) и 0,13 процентных пункта (P > 0,99). Таким образом, массовая доля белка к 4-й лактации была на уровне 4,32 % и 4,35 соответственно линиям.

В связи с повышением содержания белка в молоке наблюдалось увеличение и его выхода с молоком, которое по результатам 1-й лактации было на уровне 220,46 кг и 206,52 кг соответственно, а к каждой последующей лактации этот показатель увеличивался на 54,84 кг (P > 0,999), 21,41 кг (P > 0,99), 1,65 кг у коров линии Гленмор 157911 и на 31,95 кг (P > 0,999), 44,25 кг (P > 0,999), 9,11 кг у коров линии Секрет Сигнал Обсервер 553236.

Заключение. С возрастом у коров джерсейской породы, независимо от их линейной принадлежности, имеется тенденция к обильномолочности вплоть до 3-й лактации. Достоверное превосходство по удою за 305 дней по итогам 3-й лактации над результатами 1-й лактации у коров по линии Гленмор 157911 составило 17,82 %, линии Секрет Сигнал Обсервер 553236 – 19,68 %. При этом стоит отметить, что у коров линии Секрет Сигнал Обсервер 553236 наблюдалось достоверное повышение удоев до 3-й лактации и сохранение к 4-й лактации данного показателя практически на том же уровне. В связи с этим, коровы данной линии, по результатам 3-й и 4-й лактации имели некоторые преимущества по выходу жира и белка с молоком. Таким образом, в ходе исследований обнаружено достоверное влияние возраста коров как на удой, так и на качественные показатели молока.

Conclusion. With age, Jersey cows, regardless of their line affiliation, tend to be prolific up to the 3rd lactation. The significant advantage in milk yield over 305 days in the 3rd lactation compared to the 1st lactation in cows of the Glenmore 157911 line was 17.82 %, and in the Secret Signal Observer 553236 line, it was 19.68 %. It is worth noting that cows of the Secret Signal Observer 553236 line showed a significant increase in milk yield up to the third lactation and maintained this level almost unchanged by the fourth lactation. As a result, cows of this line had some advantages in terms of milk fat and protein content during the third and fourth lactations. Therefore, the research revealed a significant impact of cow age on both milk yield and milk quality.

Библиографический список

1. Хромова О. Л. и др. Возрастной состав и молочная продуктивность племенных коров популяции черно-пестрой породы Вологодской области. Молочнохозяйственный вестник. 2023. № 2 (50). С. 100-115.
2. Горелик О. В., Харлап С. Ю. Динамика молочной продуктивности и сервис-периода по лактациям у коров разных линий. Аграрный вестник Урала. 2022. № 2 (217). С. 23-39.
3. Зенкова Н. В. Генетический потенциал коров черно-пестрой породы и его реализация в условиях Вологодской области. Аграрный вестник Верхневолжья. 2024. № 2 (47). С. 35-40.
4. Каналина Н. М., Баранов В. А., Рахматов Л. А. Возрастное изменение продуктивности коров разных линий. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 246. № 2. С. 103-106.
5. Олейник С. А., Лесняк А. В. Влияние интенсивности роста телок джерсейской породы в период онтогенеза на их молочную продуктивность. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15. № 5. С. 201-227.
6. Тарчоков Т. Т. и др. Продуктивные качества коров в зависимости от паратипических факторов. Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 3 (47). С. 37-43.
7. Путинцева С. В., Сафронов С. Л. Сравнительный анализ молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы разного происхождения. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 2 (71). С. 87-94.
8. Санова З. С. Уровень молочной продуктивности джерсейских коров в зависимости от генеалогии. Аграрный вестник Урала. 2021. № 1 (204). С. 60-69.

9. Сафронов С. Л., Давыдова О. А. Оптимизация продуктивного долголетия коров как фактор увеличения производства молока. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 57. С. 65-71.

10. Горелик А. С. и др. Характеристика коров голштинской породы по продуктивным качествам в зависимости от возраста. Аграрная наука. 2026. № 3. С. 50-57.

11. Юхина Д. Э., Захарова О. А. Молочная продуктивность джерсейских коров разных линий в зависимости от типа нервной деятельности. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2023. Т. 15. № 3. С. 69-76.

12. Eşki F., Kurt S. Effect of lactation number on milk yield in Holstein dairy cows. Turkish Journal of Veterinary Research. 2021. V. 5. № 1. Pp. 1-4.

References

1. Khromova O. L. et al. Age composition and milk production of breeding cows of the black-and-white breed of the Vologda region. Dairy Bulletin. 2023. No. 2 (50). Pp. 100-115.

2. Gorelik O. V., Kharlap S. Yu. Dynamics of milk production and service period by lactation in cows of different lines. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 2 (217). Pp. 23-39.

3. Zenkova N. V. Genetic potential of black-and-white cows and its implementation in the conditions of the Vologda Region. Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region. 2024. No. 2 (47). Pp. 35-40.

4. Kanalina N. M., Baranov V. A., Rakhmatov L. A. Age-related changes in the productivity of cows of different lines. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2021. V. 246. No. 2. Pp. 103-106.

5. Oleinik S. A., Lesnyak A. V. The effect of the growth rate of Jersey heifers during ontogenesis on their milk production. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. V. 15. No. 5. Pp. 201-227.

6. Tarchokov T. T. et al. Productive qualities of cows depending on paratypic factors. Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. 2023. No. 3 (47). Pp. 37-43.

7. Putintseva S. V., Safronov S. L. Comparative analysis of the milk production of first-calf Holstein cows of different origins. Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University. 2023. No. 2 (71). Pp. 87-94.

8. Sanova Z. S. The level of milk production of Jersey cows depending on their pedigree. Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 1 (204). Pp. 60-69.

9. Safronov S. L., Davydova O. A. Optimization of productive longevity of cows as a factor in increasing milk production. Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University. 2019. No. 57. Pp. 65-71.

10. Gorelik A. S. et al. Characteristics of Holstein cows by productive qualities depending on age. Agrarian science. 2026. No. 3. Pp. 50-57.

11. Yukhina D. E., Zakharova O. A. Dairy productivity of Jersey cows of different lines depending on the type of nervous activity. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2023. V. 15. No. 3. Pp. 69-76.

12. Eşki F., Kurt S. Effect of lactation number on milk yield in Holstein dairy cows. Turkish Journal of Veterinary Research. 2021. V. 5. № 1. Pp. 1-4.

Информация об авторах

Куленко Владлен Олегович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: kulenkovladlen@gmail.com

Чехранова Светлана Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Николаев Сергей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

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

Крикунов Николай Александрович, главный зоотехник, АО «Молвест» (Российская Федерация, 394016, г. Воронеж, ул. 45 Стрелковой Дивизии, 259), e-mail: n.krikunov@molvest.ru

Карапетян Анжела Кероповна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru

Шаповалов Сергей Олегович, доктор биологических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: s.shapovalov@rgau-msha.ru

Каширина Лидия Григорьевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), Author ID:671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

Authors' Information

Kulenko Vladlen Olegovich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: kulenkovladlen@gmail.com

Chekhranova Svetlana Viktorovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: schekhranova@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru

Vodyannikova Vera Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: vera.shkalenko@mail.ru

Krikunov Nikolay Aleksandrovich, Chief Zootechnician, Molvest JSC (Russian Federation, 394016, Voronezh, 45 Strelkovaya Divisii Str., 259), e-mail: n.krikunov@molvest.ru

Karapetyan Angela Keropovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: a.k.karapetyan@bk.ru
Shapovalov Sergey Olegovich, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: s.shapovalov@rgau-msha.ru
Kashirina Lidiya Grigorievna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), Author ID: 671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-53

THE EFFECT OF THE FODDER ADDITIVE BASED ON LATHYRUS SATIVUS ON THE YOUNG EDILBAEVSKAYA BREED SHEEP SOME BLOOD PARAMETERS

[1]Mylnikov D. D., [1]Sazonova I. A., [2]Batanov S. D., [3]Nikolaev S. I., [3]Vorontsova E. S., [4]Kashirina L. G.

[1]Federal State Budgetary Scientific Institution RosNIISK "Rossorgo"
Saratov, Russian Federation
[2]Udmurt State Agrarian University
Izhevsk, Russian Federation
[3]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[4]Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: iasazonova@mail.ru

Received 16.03.2026 Submitted 05.06.2026

The research was carried out within the framework of the state assignment No. NIOKTR 124020300041-5 2024-2026 of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

Abstract

Introduction. To fully realize the genetic potential of animals, various approaches are used, including the use of various feed additives in diets that have a positive effect on overall health, digestion, and other metabolic processes. The introduction of natural feed additives is a key factor in producing environmentally friendly livestock products and will ensure the sustainable development of Russian feed production. Legumes, which are characterized by high protein content and excellent taste, are crucial for the development of forage resources. These include the Grass pea. Therefore, the development of new feed additives for young sheep based on vetch and the analysis of its effect on the growth and development of animals is of scientific interest. **Materials and methods.** The scientific and production experiment was conducted on young sheep of the Edilbaevskaya breed during the period from weaning to the end of the technological cycle. For this purpose, rams were selected based on the principle of paired analogues. The feeding peculiarities of the experimental animals were that the control group was fed the main diet, while in the experimental groups, part of the feed concentrates was replaced with an experimental feed additive in different proportions. The morphological and biochemical composition of the blood was determined using automatic analyzers. **Results and conclusions.** When introducing a feed additive based on Lathyrus sativus into the diet of lambs, an advantage was revealed over the control group in terms of activation of oxidation-reduction processes and protein metabolism, which was evidenced by an increase in the corresponding blood parameters of the experimental animals. The obtained data make it possible to predict an increase in meat productivity in rams when producing livestock products.

Keywords: *young sheep feeding, young sheep rations, feed additives, Lathyrus sativus, sheep meat productivity, Edilbaevskaya sheep breed.*

Citation. Mylnikov D. D., Sazonova I. A., Batanov S. D., Nikolaev S. I., Vorontsova E. S., Kashirina L. G. The effect of the fodder additive based on Lathyrus sativus on the young Edilbaevskaya breed sheep some blood parameters. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 471-479 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-53.

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

Conflict of interest. The authors did not declare a conflict of interest.

УДК 636.32/.38.033+636.087

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ЧИНЫ ПОСЕВНОЙ НА НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ МОЛОДНЯКА ОВЕЦ ЭДИЛЬБАЕВСКОЙ ПОРОДЫ

[1]**Мыльников Д. Д.,** *аспирант*
[1]**Сазонова И. А.,** *доктор биологических наук, доцент*
[2]**Батанов С. Д.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]**Николаев С. И.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[3]**Воронцова Е. С.,** *кандидат биологических наук*
[4]**Каширина Л. Г.,** *доктор биологических наук, профессор*

[1] ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»
г. Саратов, Российская Федерация
[2] ФГБОУ ВО Удмуртский государственный аграрный университет
г. Ижевск, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[4]ФГБОУ ВО Рязанский ГАТУ имени П. А. Костычева
г. Рязань, Российская Федерация

Исследования выполнены в рамках государственного задания № НИОКТР 124020300041-5 2024-2026 гг. Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Актуальность. Для того чтобы генетический потенциал животных был реализован максимально, применяют различные технологические приемы, в том числе используют в рационах разнообразные кормовые добавки, которые оказывают положительное влияние на общее здоровье, пищеварительные процессы и другие виды метаболизма. Внедрение кормовых добавок природного происхождения является ключевым фактором в получении экологически чистой продукции животноводства и обеспечит устойчивое развитие российского кормопроизводства. Важное значение в направлении формирования кормовых ресурсов имеют зернобобовые культуры, которые характеризуются высоким содержанием белка, биологической ценностью и хорошими вкусовыми качествами. К таковым относится чина посевная. Поэтому разработка новых кормовых добавок для молодняка овец на основе чины и анализ ее влияния на рост и развитие животных представляют собой научный интерес и практическое значение. **Материалы и методы.** Научно-производственный эксперимент проводился на молодняке овец эдильбаевской породы в период после отъема от матерей до конца технологического цикла. Для этого были отобраны баранчики и сформированы группы по принципу пар-аналогов. Особенности кормления подопытных животных заключались в том, что животным подопытных групп скармливали основной рацион, а в опытных группах часть концентрированных кормов была заменена на экспериментальную кормовую добавку в разных пропорциях. Морфологический и биохимический состав крови определяли с помощью автоматических анализаторов. **Результаты и выводы.** При введении кормовой добавки на основе чины в рацион ягнят было выявлено их преимущество по сравнению с контрольной группой в части активизации окислительно-восстановительных процессов и белкового обмена, о чем свидетельствовало увеличение соответствующих показателей крови животных опытных групп. Полученные данные позволяют спрогнозировать увеличение мясной продуктивности баранчиков при интенсификации технологии их выращивания.

Ключевые слова: *кормление молодняка овец, рационы молодняка овец, кормовые добавки, чина посевная, мясная продуктивность овец, эдильбаевская порода овец.*

Цитирование. Мыльников Д. Д., Сазонова И. А., Батанов С. Д., Николаев С. И., Воронцова Е. С., Каширина Л. Г. Влияние кормовой добавки на основе чины посевной на некоторые показатели крови молодняка овец эдильбаевской породы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 471-479. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-53.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Важным условием сбалансированного кормления в овцеводстве, в связи с особенностями строения желудочно-кишечного тракта овец, является обеспечение потребности в протеине, основу которого представляют аминокислоты, и «взаимоотношение» протеина с другими питательными веществами для полноценного переваривания и усвоения. «Обогащение» кормовой базы и рационов овец новыми кормовыми комплексными добавками, и разработка оптимальных дозировок их введения способствуют более полной реализации генетического потенциала овец [1, 2].

Кровь является внутренней средой организма, которая объединяет функционирование всех систем и органов. Все метаболиты крови находятся в гомеостазе и характеризуют интенсивность обмена веществ животного. Общеизвестно, что гематологические показатели изменяются в зависимости от возраста, пола и физиологии животных [3, 4, 5, 6], а также от направления продуктивности и породы [7, 8]. Определение показателей крови используется для оценки метаболических процессов в организме, которые в первую очередь зависят от общего состояния здоровья и уровня кормления. Если животное получает полноценный рацион, который сбалансирован по всем необходимым компонентам, то организм нормально развивается, и клинические показатели крови находятся в пределах физиологической нормы. В то же время обменные процессы у овец протекают на более высоком уровне, чем у других жвачных, в связи с тем, что они расходуют больше энергии на прирост живой массы. Причем молодняк овец использует питательные вещества из корма с большей эффективностью. А качественный состав рациона может влиять на его потребление через пищеварительную систему.

Существует мнение, что рациональное кормление наравне с генетическим потенциалом является одним из основополагающих факторов, от которых зависит уровень продуктивности в овцеводстве [9]. Анализ гематологических характеристик в процессе роста молодняка овец позволяет отследить реакцию организма животных на определенный уровень кормления и введение различных компонентов рациона, в том числе использование кормовых добавок. Многие исследования посвящены изучению влияния комбинированных добавок, применяющихся в кормлении овец для восполнения недостатка различных элементов, на морфологические и биохимические показатели крови, тем самым прогнозируя продуктивность животных по ряду хозяйственно полезных признаков. Так, А. Т. Варакин и соавторы изучали гематологические показатели при введении в рационы баранчиков селеноорганического препарата и комбинированной кормовой добавки с серой [10]. Другими учеными исследовались морфологический состав и биохимические показатели крови баранчиков под действием пробиотической добавки, в результате чего было отмечено положительное влияние на метаболические процессы организма животных и формирование естественной резистентности [11]. В аналогичных исследованиях на молодняке овец по применению пробиотических препаратов было доказано, что добавки способствовали повышению интенсивности белкового обмена и лучшей конверсии корма, а следовательно, приводили к более высокому приросту живой массы животных [12].

На основании научно обоснованных данных, полученных многочисленными исследователями, повысить продуктивность животных, в частности в отрасли овцеводства, возможно за счет улучшения процессов пищеварения и интенсификации метаболизма. А поскольку кровь отражает уровень процессов обмена веществ и общее состояние животных, анализ ее показателей важен для характеристики роста и развития изучаемого поголовья, а также для прогноза его продуктивности.

Целью работы являлось изучение морфологического состава и биохимических показателей крови молодняка овец эдильбаевской породы в результате введения в рацион кормовой добавки на основе чины посевной.

Материалы и методы. Научно-хозяйственный опыт осуществляли в КФХ «Беккиев М. А.» в Лысогорском районе Саратовской области в 2025 году. Эксперимент проводился на молодняке овец эдильбаевской породы в период после отъема от матерей (4 месяца) с живой массой 32,42-32,54 кг до конца технологического цикла (7 месяцев) с живой массой 43,94-48,21 кг. Для этого были отобраны баранчики и сформированы подопытные группы по принципу пар-аналогов с учетом возраста и живой массы в количестве 20 голов в каждой группе. Все животные находились в аналогичных условиях содержания на летних пастбищах, которые для подопытных групп были разделены на загоны с помощью электроизгороди. На пастбищных землях хозяйства преобладает разнотравье, включающее луговые культуры, которые составили основу рациона баранчиков. Также дополнительно давались концентраты в количестве 200 г/гол. в день, согласно схеме (таблица 1). Животным контрольной группы скармливали основной рацион, используемый в хозяйстве, а животным опытных групп часть концентрированных кормов заменяли экспериментальной кормовой добавкой в количестве 20 % и 30 %.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного эксперимента
Table 1 – Scheme of the scientific and economic experiment

Группа / Group	Количество животных, гол. / Number of animals	Состав кормового концентрата / The composition of the feed concentrate
Контроль / Control	20	ОР + зерносмесь (пшеница – 50 %; ячмень – 30 %; нут – 20 %) / Basic diet + grain mixture (50 % wheat, 30 % barley, 20 % chickpeas)
Опыт 1 / Test 1	20	ОР + зерносмесь (пшеница – 50 %; ячмень – 30 %) + кормовая добавка – 20 % / Basic diet + grain mixture (50 % wheat, 30 % barley) + feed additive – 20 %
Опыт 2 / Test 2	20	ОР + зерносмесь (пшеница – 55 %; ячмень – 15 %) + кормовая добавка (30 %) / Basic diet + grain mixture (55 % wheat, 15 % barley) + feed additive (30 %)

Кормовая добавка была разработана на базе ФГБНУ РосНИИСК «Россорго»; в основе содержала зернобобовую культуру чину посевную с добавлением минеральных компонентов (мел кормовой, сера кормовая, соль поваренная) и витаминов (А, Е, F, $Д_3$). По энергетической ценности обменная энергия в 100 г сухого вещества добавки составляла 1,35 МДж или 0,13 ЭКЕ. В целом все рационы были сбалансированы по основным питательным веществам.

Для оценки морфологических и биохимических показателей крови подопытных животных осуществляли взятие проб крови из яремной вены у пяти баранчиков из каждой группы натощак в возрасте 4 и 7 месяцев. Анализ образцов проводили на базе клинико-диагностической лаборатории УНТЦ «Ветеринарный госпиталь» Вавиловского университета с использованием автоматических анализаторов «Abacus junior vet 5» и «ChemWellcombi».

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием Microsoft Office Excel. Разница по средним показателям между группами считалась достоверной при уровне вероятности ($P \leq 0,05$).

Результаты. Перед постановкой опыта были изучены гематологические показатели в сравнительной характеристике между группами ягнят (4 месяца). Было установлено, что полученные данные находились в пределах референсных значений. Статистических различий между животными подопытных групп по изучаемым показателям морфологического состава крови выявлено не было (таблица 2).

Таблица 2 – Морфологический состав крови баранчиков, n = 3
Table 2 – Morphological composition of ram blood, n = 3

Показатель / Indicator	Группы / Group		
	Контрольная / Control	1-я опытная / Test 1	2-я опытная / Test 2
4 месяца / 4 months			
Эритроциты, $\times 10^{12}$ /л / Red blood cells, $\times 10^{12}$ /l	8,39 ± 0,08	8,36 ± 0,04	8,29 ± 0,05
Лейкоциты, $\times 10^{9}$ /л / Leukocytes, $\times 10^{9}$ /l	10,51 ± 0,08	10,40 ± 0,09	10,78 ± 0,09
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	108,1 ± 1,12	107,6 ± 1,17	106,9 ± 1,15
Тромбоциты, $\times 10^{9}$ /л / Platelets, $\times 10^{9}$/l	385,4 ± 2,14	389,1 ± 2,16	390,7 ± 2,13
7 месяцев / 7 months			
Эритроциты, $\times 10^{12}$ /л / Red blood cells, $\times 10^{12}$ /l	9,11 ± 0,06	9,39 ± 0,07 *	9,85 ± 0,08 **
Лейкоциты, $\times 10^{9}$ /л / Leukocytes, $\times 10^{9}$ /l	10,51 ± 0,08	10,40 ± 0,09	10,78 ± 0,09
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	109,1 ± 1,02	111,6 ± 2,11	113,9 ± 1,05 *
Тромбоциты, $\times 10^{9}$ /л / Platelets, $\times 10^{9}$ /l	315,4 ± 3,20	329,1 ± 4,18	313,7 ± 5,34

*Примечание: * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$.*
*Note: * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$.*

Результаты анализа крови 7-месячных баранчиков показал некоторые различия между морфологическими характеристиками контрольной группы животных с опытными. Так, молодняк, который потреблял кормовую добавку, превосходил своих сверстников из контрольной группы по количеству эритроцитов в крови: на 3 % − 1-я опытная группа (P ≤ 0,05) и на 7,7 % – 2-я опытная группа (P ≤ 0,01). Также наблюдалось некоторое повышение уровня гемоглобина в крови баранчиков 2-й опытной группы по сравнению с контролем – на 4,2 % (P ≤ 0,05).

Данные по другим форменным элементам, таким как лейкоциты и тромбоциты находились в пределах физиологической нормы и не имели различий между группами подопытных животных.

Биохимические показатели сыворотки крови характеризуют уровень обменных процессов в организме молодняка овец в зависимости от изучаемых метаболитов. Результаты данного анализа представлены в таблице 3, которые свидетельствуют об отсутствии патологических процессов в организме подопытных животных, так как все изучаемые характеристики находились в пределах референсных значений. Кроме того, в 4-месячном возрасте ягнята всех групп были примерно на одном уровне развития, так как различия между ними по содержанию основных показателей метаболизма оказались недостоверными. В 7 месяцев наблюдалась некоторая разница в биохимическом составе крови баранчиков экспериментальных групп.

Таблица 3 − Биохимические показатели крови баранчиков, n = 3
Table 3 – Biochemical parameters of blood of rams, n = 3

Показатель / Indicator	Группы / Group		
	Контрольная / Control	1-я опытная / Test 1	2-я опытная / Test 2
4 месяца / 4 months			
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	68,36 ± 1,08	67,07 ± 1,04	68,21 ± 1,05
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	3,4 ± 0,8	3,4 ± 0,7	3,5 ± 0,3
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l	119,4 ± 1,8	120,1 ± 1,5	117,9 ± 1,7
Билирубин общий, мкмоль/л / Total bilirubin, μmol/l	4,5 ± 0,3	4,6 ± 0,1	4,5 ± 0,7
Билирубин прямой, мкмоль/л / Direct bilirubin, μmol/l	1,67 ± 0,5	1,74 ± 0,9	1,60 ± 0,5
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	3,7 ± 0,4	3,8 ± 0,1	3,6 ± 0,2
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	2,6 ± 0,05	2,8 ± 0,08	2,6 ± 0,08
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	1,5 ± 0,06	1,6 ± 0,07	1,4 ± 0,08
Амилаза, ед/л / Amylase, U/l	195,5 ± 1,8	200,5 ± 1,7	183,8 ± 1,6
АсТ, ед/л / AST, U/L	64,8 ± 1,8	67,6 ± 1,6	69,0 ± 1,9
АлТ, ед/л / ALT, U/L	21,0 ± 1,8	25,6 ± 1,7	23,7 ± 1,7
Щелочная фосфатаза, ед/л / Alkaline phosphatase, U/L	97,2 ± 1,6	97,9 ± 1,5	100,9 ± 1,8
7 месяцев / 7 months			
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	70,2 ± 0,74	74,1 ± 1,09 *	74,9 ± 0,27 ***
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	5,1 ± 0,08	5,7 ± 0,1 **	5,9 ± 0,09 **
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l	125,7 ± 1,5	137,0 ± 1,6 **	146,3 ± 1,7 *
Билирубин общий, мкмоль/л / Total bilirubin, μmol/l	5,0 ± 0,3	4,8 ± 0,4	5,1 ± 0,3
Билирубин прямой, мкмоль/л / Direct bilirubin, μmol/l	1,8 ± 0,1	1,8 ± 0,2	1,9 ± 0,1
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	2,9 ± 0,2	3,1 ± 0,3	3,0 ± 0,1
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	2,7 ± 0,1	2,6 ± 0,2	2,8 ± 0,2
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	1,6 ± 0,09	1,5 ± 0,07	1,7 ± 0,05
Амилаза, ед/л / Amylase, U/l	205,4 ± 1,9	204,2 ± 2,5	210,1 ± 2,7
АсТ, ед/л / AST, U/L	53,8 ± 1,7	57,0 ± 1,5	61,1 ± 1,9 *
АлТ, ед/л / ALT, U/L	29,0 ± 0,8	28,7 ± 0,9	29,5 ± 0,6
Щелочная фосфатаза, ед/л / Alkaline phosphatase, U/L	105,2 ± 1,3	107,8 ± 1,5	108,9 ± 1,5 *

*Примечание: * P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,01; *** P ≤ 0,001.*
*Note: * P≤0.05; ** P≤0.01; *** P≤0.001.*

Одним из основных критериев оценки белкового обмена веществ в организме животных является содержание общего белка в крови. По результатам анализа в возрасте 7 месяцев у баранчиков 2-й опытной группы наблюдалось превосходство данного показа-

теля перед контролем с высокой степенью достоверных различий – на 6,3 % (Р ≤ 0,001), у баранчиков 1-й опытной группы отмечали также некоторое повышение общего белка по сравнению с контрольной группой – на 5,3 % (Р ≤ 0,05).

Аналогичные результаты были получены при анализе другого метаболита, характеризующего обмен белков – мочевины. Так, в опытных группах содержание данного показателя превышало аналогичный в сыворотке крови контрольных животных: в 1-й опытный группе – на 10,5 %, во 2-й опытной группе – на 13,56 % (Р ≤ 0,01).

Содержание креатинина напрямую зависит от развития мышечной массы животных. В наших исследованиях данный показатель в сыворотке крови опытных баранчиков находился на более высоком уровне, чем у контрольной группы: в 1-й опытной группе – на 8,2 % (Р ≤ 0,01), а во 2-й опытной группе – на 14,1 % (Р ≤ 0,05).

Анализ активности ферментов в организме характеризует механизмы ускорения процессов синтеза веществ и интенсивность метаболизма. При исследовании активности ферментов переаминирования можно увидеть интенсивность и направление белкового обмена в организме. По нашим данным, у баранчиков второй опытной группы активность аспартатаминотрансферазы была несколько выше, чем у контрольной группы (на 12 %). Причем изменение активности данного фермента было в пределах физиологической нормы, а значит, функционирование печени и сердца исследуемых животных протекало нормально.

Такой фермент, как щелочная фосфатаза, участвует в ряде химических процессов, протекающих в организме, и характеризует не только состояние печени, но и является маркером кальций-фосфорного обмена в костной ткани. В сыворотки крови баранчиков 2-й опытной группы активность щелочной фосфатазы была выше, чем в контроле, на 3,4 % (Р ≤ 0,05), что предполагает более высокий уровень минерального обмена в организме животных 2-й опытной группы.

Обсуждение. При выращивании молодняка овец на мясо в рационе часто применяются кормовые добавки различного направления, которые могут содержать биологически активные вещества, минеральные компоненты, а также сельскохозяйственные культуры, обладающие высокой питательной ценностью [1, 2, 13, 14]. Все кормовые добавки призваны улучшать обменные процессы в организме животных и в конечном итоге повышать мясную продуктивность. Среди альтернативных культур, которые являются перспективными в качестве высокобелкового компонента, необходимо отметить зернобобовое растение чину посевную, которая содержит большое количество полноценного белка и, к тому же, обладает рядом преимуществ в агротехнологическом плане [15, 16]. Использование кормовой добавки, основой которой является данная сельскохозяйственная культура, показало ряд преимуществ для роста и развития молодняка овец эдильбаевской породы, что было доказано с помощью определения основных метаболитов обмена веществ. В этом направлении кровь стала основным индикатором всех изменений метаболизма, происходящих в организме, связанных с особенностями кормления.

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии кормовой добавки на окислительно-восстановительные процессы в организме баранчиков, о чем говорит превосходство 2-й опытной группы над контрольной по уровню гемоглобина в крови подопытных животных, который участвует в обеспечении кислородом всех органов и тканей и тем самым обеспечивает жизнедеятельность организма в целом. Повышение количества эритроцитов в крови под действием кормовой добавки, которые являются самыми многочисленными форменными элементами крови и также участвуют в переносе кислорода, свидетельствует о наиболее интенсивных обменных процессах. Аналогичными исследованиями подтверждается положительное влияние высокобелковой кормовой добавки на окислительно-восстановительные механизмы в организме эдильбаевских баранчиков за счет повышения количества эритроцитов и уровня гемоглобина в крови опытных животных [17]. Это связано с тем, что молодняк эдильбаевской породы является скороспелым и отличается интенсивным ростом в данном возрастном периоде, тем самым хорошо отзываясь на введение кормовых добавок, в том числе высокобелковых.

В полученных результатах также выявлена зависимость обмена белков и его метаболитов от кормового фактора, в частности, интенсификация под влиянием экспериментальной кормовой добавки на основе чины посевной. Более высокий уровень общего белка в сыворотке крови опытных животных свидетельствует об усилении его синтеза, и, тем са-

мым, о наращивании мышечной массы. Такая тенденция отмечается с повышением уровня и других метаболитов белкового обмена (мочевины, креатинина) и предполагает изменение его процессов, что было установлено при работе с научной литературой. Повышение содержания сывороточного белка и его фракций под действием различных кормовых добавок отмечается рядом авторов [18, 19, 20].

Отмечаемая активность ферментных систем в сыворотке крови в рамках физиологической нормы свидетельствует об отсутствии патологических состояний и нормальной работе органов. Кроме того, нормальные значения ферментов-аминотрансфераз характеризуют четкую работу печени и сердца подопытных баранчиков и исключают длительный дефицит белка в кормах, что подтверждается и в других научных источниках [10]. Повышение активности фермента щелочной фосфатазы может свидетельствовать об увеличении интенсивности роста баранчиков во второй опытной группе, так как доказана ее роль в поддержании гомеостаза, регуляции роста и адаптации организма животного и установлена взаимосвязь с продуктивностью [21].

Заключение. Полученные результаты исследований подтвердили положительное влияние экспериментальной кормовой добавки на основе чины посевной на рост и развитие молодняка овец эдильбаевской породы, которое проявлялось в улучшении морфологических и биохимических показателей крови животных. В частности, отмечалась активизация окислительно-восстановительных процессов, которая выражалась в повышении количества эритроцитов и уровня гемоглобина в крови у опытных групп баранчиков. Происходила интенсификация белкового обмена, которая проявлялась в увеличении содержания метаболитов в сыворотке крови животных, потребляющих с кормом кормовую добавку, а также активизация ферментных систем (увеличение активности аспартатаминотрансферазы и щелочной фосфатазы), отвечающих за общее состояние, гомеостаз организма и работу органов.

Из вышесказанного следует, что кормовая добавка в составе кормового концентрата в количестве 30 % способствует интенсификации метаболизма в организме молодняка овец и предполагает увеличение прироста живой массы и продуктивности животных.

Conclusion. The obtained research results confirmed the positive effect of the experimental feed additive based on Lathyrus sativus on the growth and development of young Edilbaevskaya sheep, which manifested itself in the improvement of the morphological and biochemical parameters of the animals' blood. In particular, there was an activation of the redox processes, which manifested itself in an increase in the number of erythrocytes and hemoglobin levels in the blood of the experimental groups of lambs. There was an intensification of protein metabolism, which manifested itself in an increase in the content of metabolites in the blood serum of animals that consumed the feed additive, as well as an activation of enzyme systems (an increase in the activity of aspartate aminotransferase and alkaline phosphatase), which are responsible for the general condition, homeostasis of the body, and the functioning of organs.

From the above, it follows that the feed additive in the feed concentrate at a rate of 30 % contributes to the intensification of metabolism in the body of young sheep and leads to an increase in live weight and productivity of the animals.

Библиографический список

1. Молчанов А. В. и др. Мясность молодняка овец эдильбаевской породы при введении в рацион фитогенной кормовой добавки. Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4 (17). С. 119-126.

2. Яхяев Б. С. Комплексное использование кормовых добавок в кормлении овец. Охрана окружающей среды − основа безопасности страны: сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной 100-летию КубГАУ. 2022. С. 216-217.

3. Косилов В. И. и др. Гематологические показатели баранчиков, валушков и ярочек по возрастным периодам. Животноводство и кормопроизводство. 2024. № 5 (88). С. 48-57.

4. Durak M. H., Altinek A. Effect of energy deficiency during late pregnancy in chios ewes on free fatty acids, β-hydroxybutyrate and urea metabolites. Turkish. J. Vet. Anim. Sci. 2006. Vol. 30. Pp. 497-502.

5. Harvey J. W. at al. Clinical biochemistry of pregnant and nursing mares. Vet. Clin. Pathol. 2005. Vol. 34. Pp. 248-254.

6. Zabelina M. V. et al. Age peculiarities of the morphological and biochemical blood composition, natural resistance of sheep due to the organism intoxication by xenobiotics. Annals of Agri Bio Research. 2019. Vol. 24 (2). Pp. 327-331.

7. Новгородова И. П., Иолчиев Б. С., Прытков Ю. А. Сравнительная характеристика биохимических показателей крови молодняка овец в зависимости от породы и возраста. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 5. С. 69-72.

8. Емельяненко А. В. и др. Морфологический и биохимический состав крови бычков разных пород. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 256-260.

9. Mousavi Khaneghah A. et al. Interactions between probiotics and pathogenic microorganisms in hosts and foods: a review. Trends Food Sci. Tech. 2020. Vol. 95. Pp. 205-218.

10. Варакин А. Т. и др. Гематологические показатели баранчиков при использовании кормовых добавок разного состава. Овцы, козы, шерстяное дело. 2022. № 1. С. 34-37.

11. Коник Н. В., Шутова О. А. Гематологические показатели у баранчиков эдильбаевской породы при скармливании пробиотика «Бацелл». Аграрные конференции. 2023. № 39 (3). С. 1-8.

12. Погодаев В. А., Рачков И. Г., Киц Е. А. Влияние пробиотиков на морфологические и биохимические показатели крови молодняка овец. Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 3 (17). С. 128-137.

13. Гиро Т. М. и др. Влияние кормовых добавок, обогащенных йодом и селеном на аминокислотный состав мяса баранчиков эдильбаевской породы. Технологии и продукты здорового питания: сборник статей XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. 2021. С. 612-615.

14. Григорьев М. Ф. Использование нетрадиционных кормовых добавок в кормлении овец в условиях Якутии. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 93. С. 265-269.

15. Сазонова И. А. и др. Чина посевная − ценный сырьевой ресурс для кормопроизводства. Сельскохозяйственный журнал. 2025. № 1 (18). С. 60-68.

16. Ерохина А. В. Чина посевная, перспективы в кормопроизводстве (обзор). Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства: сборник трудов международной научно-практической конференции. 2024. С. 57-61.

17. Молчанов А. В. и др. Влияние высокобелковой кормовой добавки на гематологические показатели эдильбаевских баранчиков. Молодые учёные: преемственность наследия, взгляд в будущее: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. Саратов, 2025. С. 128-133.

18. Джафаров Д. Х. Влияние витаминно-минеральных добавок на морфо-биохимические показатели крови баранчиков. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 244. Вып. 4. С. 77-81.

19. Филатов А. С. и др. Взаимосвязь гематологических показателей и динамики живой массы баранчиков разных генотипов. Аграрный научный журнал. 2020. № 4. С. 64-67.

20. Церенов И. В. и др. Эффективность лактулозусодержащей добавки при выращивании баранчиков. Аграрно-пищевые инновации. 2024. Т. 26. № 2. С. 27-36.

21. Жариков Я. А., Канева Л. А. Активность щелочной фосфатазы сыворотки крови баранчиков в связи с возрастом и интенсивностью роста. Генетика и разведение животных. 2021. №1. С. 9-16.

References

1. Molchanov A. V. et al. Meat yield of young Edilbaevskaya sheep when introducing a phytogenic feed additive into the diet. Agricultural journal. 2024. No 4 (17). Pp. 119-126.

2. Yakhyaev B. S. Integrated use of feed additives in sheep feeding. Environmental protection is the basis of national security: the collection of articles based on the materials of the International Scientific Environmental Conference dedicated to the 100th anniversary of KubGAU. 2022. Pp. 216-217.

3. Kosilov V. I. et al. Hematological parameters of rams, sheep and ewe lambs by age periods. Animal Husbandry and Forage Production. 2024. No 5 (88). Pp. 48-57.

4. Durak M. H., Altinek A. Effect of energy deficiency during late pregnancy in chios ewes on free fatty acids, β-hydroxybutyrate and urea metabolites. Turkish. J. Vet. Anim. Sci. 2006. Vol. 30. Pp. 497-502.

5. Harvey J. W. at al. Clinical biochemistry of pregnant and nursing mares. Vet. Clin. Pathol. 2005. Vol. 34. Pp. 248-254.

6. Zabelina M. V. et al. Age peculiarities of the morphological and biochemical blood composition, natural resistance of sheep due to the organism intoxication by xenobiotics. Annals of Agri Bio Research. 2019. Vol. 24 (2). Pp. 327-331.

7. Novgorodova I. P., Iolchiev B. S., Prytkov Yu. A. Comparative characteristics of biochemical parameters of the blood of young sheep depending on breed and age. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2020. Vol. 34. No 5. Pp. 69-72.

8. Emelyanenko A. V. et al. Morphological and biochemical composition of the blood of bulls of different breeds. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2020. No 2 (82). Pp. 256-260.

9. Mousavi Khaneghah A. et al. Interactions between probiotics and pathogenic microorganisms in hosts and foods: a review. Trends Food Sci. Tech. 2020. Vol. 95. Pp. 205-218.

10. Varakin A. T. et al. Hematological parameters of rams using feed additives of different compositions. Sheep, goats, wool business. 2022. No 1. Pp. 34-37.

11. Konik N. V., Shutova O. A. Hematological parameters in Edilbaevskaya rams fed with the probiotic "Bacell". Agrarian conferences. 2023. No 39 (3). Pp. 1-8.

12. Pogodaev V. A., Rachkov I. G., Kits E. A. The influence of probiotics on morphological and biochemical parameters of the blood of young sheep. Agricultural journal. 2024. No 3 (17). Pp. 128-137.

13. Giro T. M. et al. Effect of feed additives enriched with iodine and selenium on the amino acid composition of Edilbaevskaya lamb meat. Technologies and products of healthy nutrition: collection of articles from the XII National scientific and practical conference with international participation. 2021. Pp. 612-615.

14. Grigoriev M. F. Use of unconventional feed additives in feeding sheep in Yakutia. Proceedings of the Kuban State Agrarian University. 2021. No 93. Pp. 265-269.

15. Sazonova I. A. et al. Pea - the valuable raw material resource for forage production. Agricultural journal. 2025. No 1 (18). Pp. 60-68.

16. Erokhina A. V. Sown grass pea: prospects in forage production (review). Current issues in veterinary science and intensive animal husbandry: proceedings of the international scientific and practical conference. 2024. Pp. 57-61.

17. Molchanov A. V. et al. Effect of a high-protein feed additive on hematological parameters of Edilbaev rams. Young scientists: continuity of heritage, a look into the future: Proceedings of the 1st All-Russian scientific and practical conference dedicated to Russian Science Day. Saratov, 2025. Pp. 128-133.

18. Dzhafarov D. Kh. The influence of vitamin and mineral supplements on the morpho-biochemical parameters of ram blood. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman. 2020. Vol. 244. Issue 4. Pp. 77-81.

19. Filatov A. S. et al. Relationship between hematological parameters and live weight dynamics of rams of different genotypes. Agrarian Scientific Journal. 2020. No 4. Pp. 64-67.

20. Tserenov I. V. et al. Efficiency of a lactulose-containing additive in growing rams. Agrarian and food innovations. 2024. Vol. 26. No 2. Pp. 27-36.

21. Zharikov Ya. A., Kaneva L. A. Alkaline phosphatase activity in the blood serum of young rams in relation to age and growth intensity. Genetics and Animal Breeding. 2021. No 1. Pp. 9-16.

Информация об авторах

Мыльников Дмитрий Дмитриевич, аспирант, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4), e-mail: dmitrymylnikov21@mail.ru

Сазонова Ирина Александровна, главный научный сотрудник, ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» (Российская Федерация, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4) https: // orcid.org/0000-0001-9844-5339, e-mail: iasazonova@mail.ru

Батанов Степан Дмитриевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Удмуртский ГАУ» (Российская Федерация, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая,11) https: // orcid.org/0000-0002-6662-2414, e-mail: stepanbatanov@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

Каширина Лидия Григорьевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, (Россия, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), Author ID: 671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

Authors' Information

Mylnikov Dmitry Dmitrievich, Postgraduate student, RosNIISK Rossorgo Federal State Budgetary Scientific Institution (Russian Federation, 410050, Saratov, 1st Institutsky Ave., 4), e-mail: dmitrymylnikov21@mail.ru

Sazonova Irina Aleksandrovna, Chief Researcher, RosNIISK Rossorgo Federal State Budgetary Scientific Institution (Russian Federation, 410050, Saratov, 1st Institutsky Ave., 4), https: // orcid.org/0000-0001-9844-5339, e-mail: iasazonova@mail.ru

Batanov Stepan Dmitrievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department, Udmurt State Agrarian University (Russian Federation, 426069, Izhevsk, Studencheskaya Str., 11), https: // orcid.org/0000-0002-6662-2414, e-mail: stepanbatanov@mail.ru

Nikolaev Sergey Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nikolaevvolgau@yandex.ru.

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: esvoronts@mail.ru.

Kashirina Lidiya Grigorievna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), Author ID: 671505, e-mail: lg.kashirina@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-54

THE TEMPERATURE EFFECT ON THE *CHERAX QUADRICARINATUS* (VON MARTEN) CRAYFISH FUNCTIONAL STATE ASSESSED BY THE CARDIO ACTIVITY INDICATORS

[1]Sladkova S. V., [2]Lyubimtsev V. A., [2]Kholodkevich S. V., [3]Bakhareva A. A., [4]Kravchenko Yu. V.

[1]St. Petersburg State University
St. Petersburg, Russian Federation
[2]St. Petersburg Research Centre for Environmental Safety of the Russian Academy of Sciences – separate structural subdivision of the St. Petersburg Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
St. Petersburg, Russian Federation
[3]Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (PKU)
Moscow, Russian Federation
[4]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: sladkova_sv1@mail.ru

Received 31.03.2026 Submitted 28.05.2026

The work was carried out using the equipment of the Environmental Safety Observatory of the Science Park of St. Petersburg State University. St. Petersburg State University within the framework of grant 132392751 funded the work (S. V. Sladkova). The work was also financed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation "Development of methods for monitoring the state of ecosystems in the north-west of Russia", FFZF-2025-0018 (V. A. Lyubimtsev, S. V. Kholodkevich).

Summary

The article examines the effect of temperature on the physiological state of Australian red-claw crayfish Cherax quadricarinatus under laboratory conditions using cardio activity parameters (heart rate, HR). An approach is proposed for determining the boundaries of the normal vital activity zone based on the analysis of temperature dependences of HR in resting state, during daytime and nighttime spontaneous activity, and under stress (maximum HR). In a long-term experiment with acclimation to sequentially increasing temperatures from 14 to 34 °C, the thermal comfort zone for these crayfish was established at 22-29 °C, and the upper boundary of thermotolerance was shown to be above 34 °C.

Abstract

Introduction. Temperature is a key abiotic factor affecting the physiology of aquatic organisms, including heart rate (HR), which can serve as a proxy for metabolic rate. Tropical crayfish *Cherax quadricarinatus* are widely used in aquaculture and as bioindicators, but data on their cardio activity in response to temperature changes are limited. **Object.** The aim is to assess the functional state of *Cherax quadricarinatus* by HR parameters at rest, during spontaneous and forced activity within and beyond the thermal comfort zone. **Materials and methods.** Six adult males (22.8±0.9 g, 102.7±4.1 mm) were used. HR was recorded non-invasively using laser fiber-optic photoplethysmographs (840 nm, 10-15 mW). Crayfish were kept at 26 °C for 7 days, then temperature was gradually changed to 14, 22, 26, 29, and 34 °C (3 days each). HR was measured during daytime rest (HRd), minimum resting HR (HRr), nighttime spontaneous activity (HRa), and under stress (HRt – forced activity test). **Results and conclusion.** The HR increased linearly with temperature for HRr, HRd, and HRt over the entire range (R^2≥0.98). The difference (HRt–HRr) – the total HR reserve – increased monotonically. However, the range used for spontaneous nighttime activity (HRa–HRr) increased only up to 29 °C and then decreased at 34 °C. The proportion of the HR reserve used at night was maximal at 29 °C (31 %) and minimal at 14 °C (16 %). The ratio of nighttime to daytime activity increased up to 29 °C and then declined. The thermal comfort zone for adult Cherax quadricarinatus was determined as 22-29 °C, with an optimum near 29 °C; the upper survival boundary is above 34 °C.

Keywords: *crayfish* functional state, crayfish physiological indicators, red-clawed crayfish, thermal comfort zone, crayfish thermotolerance, crayfish cardio-activity, Cherax quadricarinatus, crayfish temperature adaptation.

Citation. Sladkova S. V., Lyubimtsev V. A., Kholodkevich S. V., Bakhareva A. A., Kravchenko Yu. V. The temperature effect on the *Cherax quadricarinatus* (von Marten) crayfish functional state assessed by the cardio activity indicators. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 479-492 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-54.

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 639.517

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ РАКОВ *CHERAX QUADRICARINATUS* (VON MARTEN) ОЦЕНИВАЕМОЕ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КАРДИОАКТИВНОСТИ

[1]**Сладкова С. В.,** *ведущий специалист*
[2]**Любимцев В. А.,** *кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник*
[2]**Холодкевич С. В.,** *доктор технических наук, главный научный сотрудник*
[3]**Бахарева А. А.,** *доктор сельскохозяйственных наук, доцент*
[4]**Кравченко Ю. В.,** *кандидат сельскохозяйственных наук*

[1]Санкт-Петербургский государственный университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
[2]Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН»
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
[3]Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)
г. Москва, Российская Федерация
[4]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Работа выполнена с использованием оборудования Обсерватории экологической безопасности Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета. Работа финансировалась Санкт-Петербургским государственным университетом в рамках гранта 132392751 (С. В. Сладкова). Работа также финансировалась в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Разработка методов мониторинга состояния экосистем на северо-западе России», ФФЗФ-2025-0018 (В. А. Любимцев, С. В. Холодкевич).

Актуальность. Температура является ключевым абиотическим фактором, влияющим на метаболизм гидробионтов. Частота сердечных сокращений (ЧСС) позволяет косвенно оценивать метаболические и физиологические функции. Тропические виды, такие как австралийский красноклешневый рак Cherax quadricarinatus, живут близко к верхнему температурному пределу и особенно уязвимы к дальнейшему повышению температуры. Данный вид широко используется в аквакультуре и как биоиндикатор, однако данные о его кардиоактивности в зоне теплового комфорта и на границах то-

лерантности ограничены. **Объект.** Объектом исследования являются взрослые самцы австралийского красноклешневого рака Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868) массой 22,8 ± 0,9 г и длиной 102,7 ± 4,1 мм. **Материалы и методы.** Для регистрации ЧСС использовали лазерные волоконно-оптические фотоплетизмографы (длина волны 840 нм, мощность 10-15 мВт) с волоконно-оптическим зондом, закрепляемым на карапаксе над сердцем. Эксперимент включал акклимацию раков (исходно культивируемых при 26 °С) к температурам 14, 22, 26, 29 и 34 °С (по 3 суток на каждую температуру). Оценивали: ЧСС в дневное время покоя (ЧССд), минимальную ЧСС покоя (ЧССп), ЧСС в ночной период спонтанной активности (ЧССа) и максимальную ЧСС при вынужденной активности (ЧССт – тест с подвешиванием на 3 мин). **Результаты и выводы.** Зависимости ЧССп, ЧССд и ЧССт от температуры носили линейный характер во всём диапазоне 14-34 °С ($R^2 \geq 0,98$), что указывает на расположение критического температурного максимума выше 34 °С. Резерв увеличения ЧСС (ЧССт–ЧССп) монотонно возрастал с температурой. Однако реально используемый диапазон для ночной активности (ЧССа–ЧССп) увеличивался только до 29 °С, а при 34 °С снижался. Доля используемого резерва ЧСС ночью была максимальна при 29 °С (31 %) и минимальна при 14 °С (16 %). Отношение ночной активности к дневной (Ан/Ад) росло до 29 °С (до 3,7), затем снижалось. Таким образом, зона теплового комфорта для взрослых *Cherax quadricarinatus* составляет 22-29 °С (оптимум ~29 °С), верхняя граница выживания находится выше 34 °С. Предложенный подход, основанный на анализе температурных зависимостей ЧСС в разных функциональных состояниях, может использоваться для определения границ температурной нормы у пресноводных раков.

Ключевые слова: *функциональное состояние раков, физиологические показатели раков, красноклешневые раки, зона теплового комфорта, термотолерантность раков, кардиоактивность раков, Cherax quadricarinatus, температурная адаптация раков.*

Цитирование. Сладкова С. В., Любимцев В. А., Холодкевич С. В., Бахарева А. А., Кравченко Ю. В. Влияние температуры на функциональное состояние раков *Cherax quadricarinatus* (von Marten) оцениваемое по показателям кардиоактивности. Известия НВ АУК. 2026. 3(87). 479-492. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-54.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Температура является ключевым абиотическим фактором, оказывающим существенное влияние на поведение и физиологию гидробионтов, включая способность к физической нагрузке и репродуктивные функции, непосредственно воздействуя на скорость их метаболизма [1]. Частота сердечных сокращений (ЧСС) наряду со скоростью потребления кислорода может быть использована как мера метаболической и физиологической функции при изменении температуры [2-4], поскольку скорость потребления кислорода можно косвенно оценивать по скорости его доставки. Известно, что многие виды пресноводных раков, как и все эктотермы, весьма уязвимы к изменениям температуры водной среды [5-7]. Считается, что тропические виды живут очень близко к верхнему температурному пределу и поэтому более уязвимы к незначительному дальнейшему повышению температуры, чем эврибионтные виды [8]. Это обусловлено тем, что температурная зона выживания шире, чем зона температурного комфорта, в которой животные максимально проявляют свойственную виду суточную активность, необходимую для нормального роста и размножения [9, 10].

Австралийские красноклешневые раки *Cherax quadricarinatus* (C. q.) von Martens, 1868, получившие широкую известность в мире как объект тепловодной аквакультуры, родом из Северной Австралии и Папуа-Новой Гвинеи естественным образом адаптированы к диапазону температур от 23 до 31 °С [11]. В настоящее время в литературе приводятся различные данные экстремальных температурных границ этого вида от 10 до 30 °С [12], от 22 до 34 °С [13, 14] и до 40 °С [15].

На сегодняшний день австралийский красноклешневый рак широко распространен, главным образом, в тропических и субтропических регионах. Его дикие популяции обнаруживают в водоемах различных стран Азии, Африки, Европы и Америки [16, 17], и количество мест, где раки этого вида появляются, продолжает расти. Так, этот вид недавно был обнаружен в разных штатах Мексики [18]. В водоемах зоны умеренного климата его еще не зарегистрировали, поскольку, как было показано при длительном содержании в воде с температурой 1-4 °С, красноклешневые раки не могут выживать [19]. Однако этот вид может выжить там, где есть подогретые стоки, и потепление климата может этому способствовать. Несмотря на имеющиеся сведения о температурной толерантности и механизмах физиологической компенсации резких температурных изменений у пресноводных раков [20], а также работы по выращиванию и культивированию австралийских красноклеш-

невых раков [13, 21-24,] в литературе нет данных о влиянии температуры на кардиоактивность красноклешневых раков в области «теплового комфорта» и, особенно, при приближении к границам зоны температурной толерантности.

Основной целью данной работы является оценка функционального состояния раков *Cherax quadricarinatus* по показателям их кардиоактивности (значения ЧСС) в покое, при спонтанной и вынужденной активности для зоны «теплового комфорта» и при выходе за ее границы. Исследование имеет и практическую значимость, поскольку этот вид является перспективным объектом аквакультуры. Красноклешневые раки используются для оценки качества биологически очищенных сточных вод в условиях высоких температур [25] и как индикаторные организмы теплых эвтрофных водоемов [26]. Это связано с возможностью взрослых раков длительное время жить в условиях аномальных концентраций кислорода и биогенов в воде [27, 28], а также с высокой чувствительностью к хроническому загрязнению воды тяжелыми металлами, например никелем и медью [29]. Все это позволяет использовать их в качестве биоиндикаторов в биологических системах раннего предупреждения. В этой связи важно учитывать способность этих видов акклиматизироваться к условиям, зачастую сильно отличающимся от естественной среды.

Материалы и методы. Красноклешневые раки культивируются в лабораторных условиях ресурсного центра «Обсерватория экологической безопасности» научного парка СПбГУ при температуре 26 °С. Поддерживались следующие параметры воды: pH 7,2-7,4, оксигенация выше 90 %, общая жесткость 40-42 мг/л. Экспериментальная группа состояла из 6 перелинявших половозрелых самцов весом 22,8 ± 0,9 г и длиной 102,7 ± 4,1 мм. Для регистрации сигнала кардиоактивности раков использовались лазерные волоконно-оптические фотоплетизмографы (далее – ЛВОФ) с длиной волны лазерного света 840 нм и мощностью светового потока 10-15 мВт. Для подведения света к зоне карапакса над областью сердца рака и отведения рассеянного светового потока к ЛВОФ использовался волоконно-оптический зонд [30], который прикреплялся к карапаксу рака. Это обеспечивает полную неинвазивность процедуры определения частоты сердечных сокращений (ЧСС). Кроме того, благодаря своей эластичности зонд не влияет на подвижность животного. В наших предыдущих исследованиях не было замечено негативного влияния лазерного света указанной мощности на выживаемость, питание и подвижность половозрелых самцов раков различных видов [31-33]. Отводимый световой поток, изменяющийся по интенсивности в такт с биением сердца рака, преобразовывался в электрический сигнал. Сигналы с 6 ЛВОФ поступали на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Получающийся при этом ряд значений сохранялся в виде отдельного файла (фотоплетизмаграмма). При обработке фотоплетизмограммы в режиме реального времени с помощью оригинальной программы VarPulse [30] определялся временной интервал между последовательными ударами и рассчитывалось среднее значение ЧСС (рисунок 1).

Рисунок 1 –Красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* с оптоволоконным зондом, размещенным на карапаксе над сердцем для измерения кардиоактивности, типичная кривая которой показана внизу рисунка

Figure 1 – Red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* with an optical fiber probe placed on the carapace over the heart for measuring cardio activity; the typical recording curve is shown at the bottom of the figure

После закрепления зонда раков помещали в отдельные аквариумы с непрозрачными стенками и кварцевой крошкой на дне. Укрытием для животного («убежищем») служил горизонтально расположенный в углу аквариума кусок полимерной трубки диаметром 80 мм с прорезью наверху для пропуска оптического зонда. Толщина слоя воды в аквариумах составляла 9 см. Аквариумы были подключены к системе рециркуляции воды, включающей в себя накопительный бак с погруженным циркуляционным насосом. 6 аквариумов размещались на закрытом стеллаже с локальным освещением люминесцентными лампами, управляемыми таймером, установленным на 12 часов света/ 12 часов темноты: с 7:30 до 19.30 светло и с 19:30 до 7:30 темно. В экспериментах была использована отстоянная водопроводная вода с низкой минерализацией 50 мг/л. Животных кормили один раз в трое суток личинками хирономид в количестве примерно 2 % от общей массы. На следующий день остатки еды удалялись. При ежедневной замене примерно 30 % общего объема воды (100 л) в системе рециркуляции на отстоянную водопроводную воду той же температуры концентрация нитратов изменялась в диапазоне 12-30 мг/л. В эксперименте температура изменялась от 14 до 34 °С. Температуру воды в диапазоне от 14 до 20 °С поддерживали за счет охлаждения воздуха (климатическая камера – холодильник), а от 21 до 34 °С – за счет подогрева воды в накопительной емкости погружными электронагревателями (Тетра НТ 25-300).

Раки после помещения в аквариумы содержались семь дней при начальной температуре 26 °С, которая в течение трех последующих дней постепенно снижалась до 14 °С. Такая температура сохранялась стабильной в течение семи дней, и в конце этого периода измерялись характеристики ЧСС; затем температуру воды постепенно повышали в течение 5-6 ч. Далее каждую температуру (22, 26, 29, 34 °С) поддерживали неизменной в течение трёх дней. Изменяли температуру воды всегда после 20:00. Еду давали также в 20:00, но на следующий день после изменения температуры. Значения ЧСС в разных функциональных состояниях (покой, спонтанная и вынужденная активность) измеряли в последние сутки экспозиции при каждой температуре. Такая дискретность была выбрана из соображений протестировать как можно большее количество температур и избежать линьки раков, поскольку известно, что повышение температуры может стимулировать линочный процесс.

При анализе непрерывной динамики ЧСС, выбирались следующие величины:

1. ЧССд – значение, полученное при усреднении значений ЧСС за период с 12.00 до 16.00 – время минимальной активности раков в эксперименте при искусственном освещении.

2. ЧССп – минимальное значение, полученное усреднением ЧСС за 10 минут в течение периода времени с 12.00 ч до 16.00 ч. Такие значения ЧСС регистрируются в период естественной неподвижности раков и характерны для метаболического уровня наиболее близкого к стандартному обмену.

2. ЧССа – значение, полученное при усреднении ЧСС за период с 21.00 до 3.00 – время максимальной активности раков в эксперименте в темноте.

3. ЧССт – максимальное значение, полученное усреднением ЧСС во время вынужденной активности при тестировании раков. Тестирование проводилось следующим образом: раков за оптический зонд датчика извлекали из укрытия и подвешивали на оптоволокне в воде на высоте 5 см над дном аквариума на 3 мин, после чего отпускали. ЧСС усредняли в течение подвешивания и в течение 10 мин после. Похожая процедура применялась для оценки максимального аэробного энергообмена *Carcinus maenas* [34].

Данные о частоте сердечных сокращений оценивали с помощью программ VarPulse и STATISTICA для Windows. Для построения графиков значений ЧССп, ЧССд, ЧССт, ЧССн от температуры использованы средние значения для групп n = 6. Вариация представлена как стандартная ошибка среднего значения (среднее ± SE). Достоверность различий проверяли с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Различия считались достоверными при $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Динамика изменений ЧСС раков при 26 °С на начальном этапе экспериментов показала, что уже через 4 суток акклимация раков к условиям эксперимента в основном завершается. ЧСС в дневное время снижается от максимальных значений 145-165 уд/мин, вызванных стрессом от крепления датчика и перемещения раков в аквариумы, до минимальных 50-55 уд/мин и в дальнейшем стабилизируется на этом уровне. На рисунке 2 показан типичный пример полностью обусловленного режимом искусственного освещения суточного ритма ЧСС красноклешневых раков, культивируемых в лабораторных условиях при 26 °С.

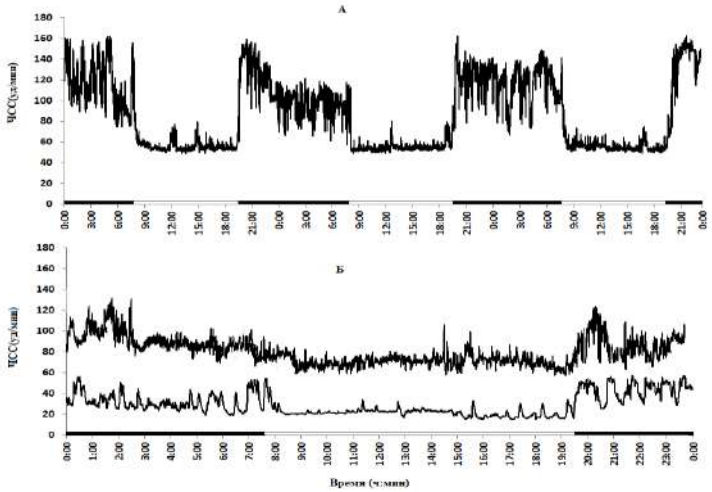


Рисунок 2 – (А) Типичная динамика ЧСС раков в течение 3 суток при 26 °С.
(Б). Суточная динамика ЧСС для одного из раков при температурах 14 °С (нижняя кривая) и 34°С. (верхняя кривая) Черные участки временной шкалы показывают темный период
Figure 2 – (A) Typical dynamics of crayfish heart rate over 3 days at 26 °C.
(B) Daily dynamics of heart rate for one of the crayfish at temperatures of 14 °C (lover curve) and 34 °C (upper curve). Black segments on the time scale indicate the dark period

Визуальное наблюдение показало, что большую часть дня раки оставались неподвижными в своих убежищах и активно перемещались за пределы укрытий в ночное время, что сопровождалось повышением ЧСС. При этом ЧСС в светлое время суток, как правило, более стабильна, а в период темноты – более вариабельна. Такой суточный характер изменения ЧСС наблюдается при всех исследованных температурах. При температурах значительно ниже температуры первичной акклимации (26 °С) разница между величинами ЧСС в дневной и ночной периоды (ЧССа – ЧССд) уменьшалась при снижении температуры за счет большего падения ЧСС в ночное время (ЧССа). Причем наблюдалось как уменьшение максимальных значений (ЧССа), так и сокращение продолжительности периодов ночного повышения ЧСС. При температурах выше температуры первоначальной акклимации (26 °С) увеличивалась ЧСС как днем, так и ночью, но разница между ними уменьшалась за счет более значительного роста ЧСС днем. Как видно из рисунка 2, при крайних температурах 14 °С и 34 °С проявление суточного ритма менее выражено, а при температуре 34 °С наблюдается большая вариабельность ЧСС не только в ночные часы, но и в дневное время.

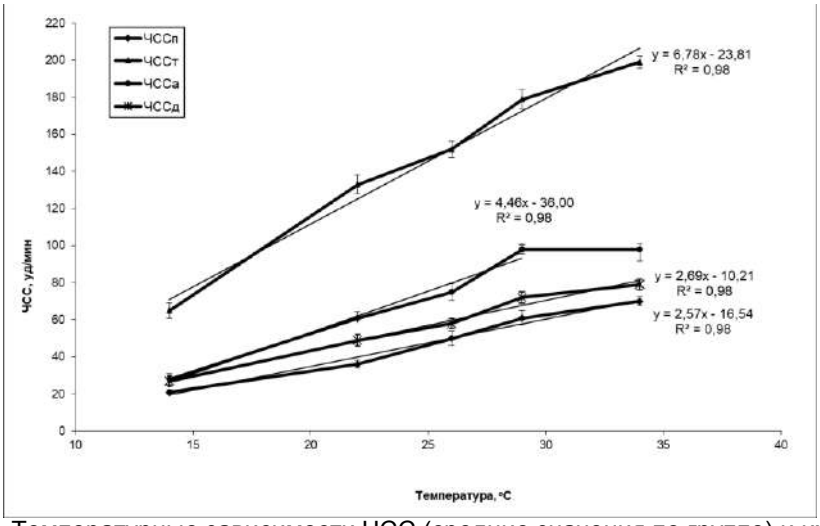


Рисунок 3 – Температурные зависимости ЧСС (средние значения по группе) и их линейные аппроксимации раков *Cherax quadricarinatus* в состоянии покоя (ЧССп), ЧССд в дневной период, в ночной период спонтанной активности (ЧССа) и вынужденной активности при тестировании (ЧССт)
Figure 3 – Temperature dependences of heart rate (group mean values) and their linear approximations in *Cherax quadricarinatus* at rest (HRr), during daytime (HRd), during nighttime spontaneous activity (HRa), and during forced activity under testing (HRt)

Зависимость ЧСС раков от температуры в разных функциональных состояниях в диапазоне температур от 14 °С до 34 °С представлены на рисунке 3. Кривые ЧССп и ЧССт имеют монотонный рост на протяжении всего исследованного диапазона температур и достаточно хорошо аппроксимируются линейной зависимостью (коэффициенты детерминации $R^2 \geq 0,98$).

Кривая зависимости ЧССа от температуры монотонно растет в интервале температур от 14 до 29 °С и также может быть аппроксимирована линейной зависимость (коэффициент детерминации $R^2 = 0,9806$), а далее ее рост практически прекращается. Следует иметь в виду разность (ЧССт-ЧССп) представляет собой весь возможный резерв увеличения ЧСС для обеспечения адекватной доставки кислорода органам и тканям для нормальной жизнедеятельности, а разность (ЧССа-ЧССп) – диапазон увеличения ЧСС, реально используемый для спонтанной локомоторной активности и питания. Из рисунка видно, что у красноклешневых раков разность (ЧССт-ЧССп) монотонно увеличивается с ростом температуры во всем исследованном диапазоне температур. Но реально используемый раками для ночной локомоторной активности диапазон ЧСС, между кривыми (ЧССа-ЧССп), значительно меньший, чем резерв, увеличивается с повышением температуры только до 29 °С, а далее, в диапазоне от 29 до 34 °С, наблюдается уменьшение использования энергетических ресурсов на активность, при том, что энергетические возможности продолжают увеличиваться. Доля реализуемого диапазона значений ЧСС в период «ночной» активности от максимально возможного, которую можно вычислить как К=(ЧССа-ЧССп)/(ЧССт-ЧССп) *100 %, наибольшая при 29 °С и составляет чуть больше 30 %, а минимальная – в районе 14 °С и составляет 16 % (рисунок 4).

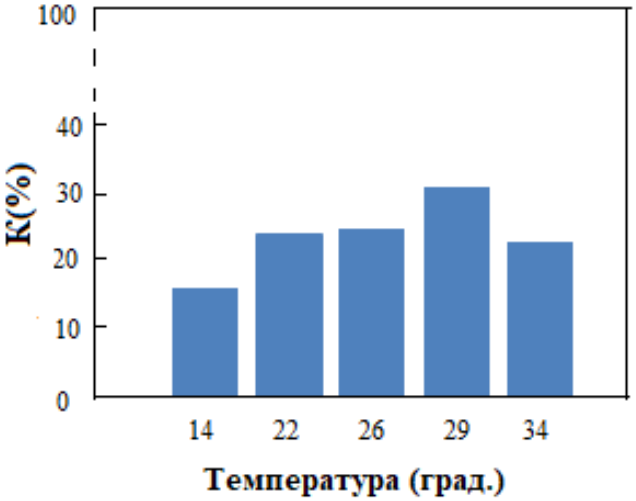


Рисунок 4 – Доля от резерва увеличения ЧСС, которую раки используют в ходе «спонтанной» ночной активности (К(%)=(ЧССа-ЧССп)/(ЧССт–ЧССп)*100 %) при различных температурах от 14 и до 34 ºС
Figure 4 – Proportion of the heart rate reserve used by crayfish during spontaneous nighttime activity (K(%) = (HRa–HRr)/(HRt–HRr)×100 %) at various temperatures from 14 to 34 °C.

Похожим образом изменяется и спонтанная дневная активность для этих же температур. Но наиболее явно влияние температуры на активность раков в ночное (Ан) и дневное (Ад) время видно при прямом сравнении этих величин в соответствии с формулой Ан/Ад=(ЧССа-ЧССп)/(ЧССд-ЧССп) (рисунок 5).

После акклимации к экспериментальным условиям, которая проявлялась в стабилизации ЧСС в дневное время, раки при температуре культивирования (26 ºС) демонстрировали отчетливо выраженный, типичный для вида суточный кардиоритм с чередованием дневного периода с низкими значениями ЧСС и ночного – с более высокими значениями, что является показателем снижения уровня стресса и восстановления естественного суточного цикла. (Сладкова и др., 2017). Такое соотношение количественных характеристик кардиоактивности в течение суток отражает изменения в поведении раков, соответствующие переходу при наступлении темноты из состояния покоя в активное состояние, связанное с их сумеречной активностью и особенностями организации пищедобывательного поведения. Суточный ритм ЧСС, наблюдаемый нами у тропических красноклешневых раков, без сомнения, является проявле-

нием характерного для Decapoda циркадианного ритма, синхронизированного с режимом искусственного освещения «день-ночь» (12С:12Т) [31, 35]. Такой характер суточного ритма ЧСС является показателем минимального стрессирования раков в процессе длительного эксперимента, что служит необходимым условием для исследований кардиоактивности в различных функциональных состояниях в искусственных условиях [36].

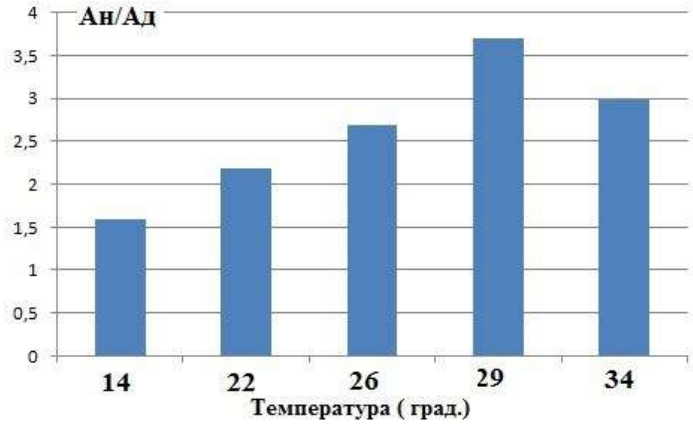


Рисунок 5 – Соотношение ночной (Ан) и дневной (Ад) активностей раков при температурах 14-34 °С, оцениваемое по различию температурной зависимости величин ЧССа, ЧССд и ЧССп в соответствии с формулой; (Ан/Ад) = (ЧССа-ЧССп)/(ЧССд-ЧССп)

Figure 5 – Ratio of nighttime (An) to daytime (Ad) activity in crayfish at temperatures of 14-34 °C, estimated from the difference in temperature dependences of HRa, HRd and HRr according to the formula: (An/Ad) = (HRa–HRr)/(HRd–HRr)

При температуре культивирования, равной 26 °С, суточный ритм кардиоактивности проявляется наиболее отчетливо. Из литературы известно, что температура 26 °С соответствует диапазону температур, в котором наиболее интенсивно идет рост и сохраняется высокая выживаемость молоди красноклешневых раков [13, 37]. Выраженность суточного ритма нивелируется как при высоких, так и при низких температурах, причем при низких температурах это связано с уменьшением активности в ночное время, а при высоких – с увеличением активности в дневное время, возможно, связанной с попыткой избежать неблагоприятных условий.

Для оценки функционального (физиологического) состояния раков мы используем энергетический подход. Минимальная и максимальная скорости метаболизма, которые косвенно можно оценивать по ЧСС, а также разница между ними (метаболический диапазон) являются показателями физиологического состояния организма. ЧСС в покое – это наилучший практический показатель минимального (основного) уровня метаболизма, а ЧСС во время вынужденной активности – максимального уровня. Нами выявлено, что ЧСС раков увеличивалась с повышением температуры во всех метаболических состояниях (ЧССп, ЧССд, ЧССа и ЧССт). При температурах в диапазоне 14-26 °С значения ЧССд на 10-12 ударов выше, чем ЧССп. Судя по всему, состояние раков в дневное время можно охарактеризовать как оперативный покой, когда энергия расходуется не только на поддержание структуры, но и на обеспечение сенсорного восприятия окружающей среды и ограниченную подвижность в убежище. При изучении поведения у животных, активных в сумеречное и ночное время, таких как высшие раки и креветки, уровень метаболизма в дневное время принимается в качестве первого приближения основного метаболизма [6, 7]. В полученных эмпирических кривых не наблюдается значительных отклонений от линейной зависимости для ЧСС покоя (ЧССп), обеспечивающей стандартный метаболизм, ЧСС в дневное время (ЧССд) и максимальной ЧСС при вынужденной активности в тесте (ЧССт) во всем исследованном диапазоне температур. Следовательно, критический температурный максимум (КТМ), соответствующий температуре, когда максимальная ЧСС перестает расти с ростом температуры для этого вида раков находится выше 34 °С.

По литературным данным КТМ ювенильных красноклешневых раков акклимизированных к температуре 26 °С составляет 40 °С [38]. Но нами получено резкое снижение скорости роста ЧССа, определяемой у красноклешневых раков во время ночной спонтанной активности с увеличением температуры от 29 до 34 °С. Это говорит о том, что, несмотря на

успешную акклимацию раков ко всем высоким температурам эксперимента и увеличивающемся энергетическим резервом (ЧССт-ЧССп) для активности, начиная с 29° С ночная активность раков, связанная с активной жизнедеятельностью в условиях эксперимента (ЧССа-ЧССп), практически не увеличивается. При 34 °С доля используемого энергетического резерва (22 %) существенно ниже, чем при 29 °С (31 %) и в тенденции даже ниже, чем при 22 °С (рисунок 4). Это свидетельствует в пользу того, что концепция, связывающая ограничения адаптации высших ракообразных к высоким температурам с недостаточной способностью сердечно-сосудистой системы адекватно снабжать ткани кислородом при высоких потребностях [39], не является приоритетной для красноклешневых раков и согласуется с результатами, полученными для других тропических видов [6, 7]. Это, по всей вероятности, связано с расположением у высших раков сердца вблизи жабр, и поэтому все ткани сердца омываются максимально насыщенной кислородом гемолимфой [40]. Минимальное использование энергетического резерва (16 %) для жизнедеятельности при минимальном самом резерве наблюдался у раков при температуре 14 °С, причем средняя ЧСС раков в ночное время практически не отличалась от ЧСС днем, что говорит о том, что при данной температуре раки впадают в неактивное состояние, и длительное содержание в таких условиях, возможно приведет к гибели животных.

Известно, что нижняя температура избегания составляет у австралийских красноклешневых раков 11,7 °С [38], а содержание в условиях, имитирующих зимний температурный режим европейских экосистем умеренной зоны, показал их неспособность переживать низкие температуры длительное время [19]. По литературным данным при температуре 15 °С молодь красноклешневых раков не росла, и вся погибла к концу шестой недели [14]. Принимая во внимание риск гибели красноклешневых раков, самая низкая температура в нашем эксперименте была 14 °С и представляла главным образом теоретический интерес, поскольку в естественных условиях обитания этих раков такая температура не реализуется.

Необходимо отметить, что полученные нами данные справедливы для раков, первоначально акклимированных в опыте к 26 °С – типичной температуре в весенне-летний период в естественных условиях их обитания. В лабораторных экспериментах показано, что пределы термальной толерантности красноклешневых раков, определяемые в остром эксперименте по максимальной ЧСС, увеличиваются с ростом температуры акклимации [38].

При определении диапазона «оптимальных температур» [41] для эктотермных животных обычно имеют в виду температуры, оптимальные для полного цикла развития. Для этого в экспериментальных условиях обычно ориентируются на показатели скорости роста организма и величину потребления кислорода [6, 13, 20]. Изменения скорости потребления кислорода при изменении температуры можно условно оценить по изменению скорости его доставки, которая в основном обеспечивается изменением ЧСС [7]. Сопоставление ночной (Ан) и дневной (Ад) активности (Ан/Ад) показало (рисунок 5), что в диапазоне от 15 до 29 °С ночная активность возрастает при увеличении температуры значительно быстрее, чем дневная активность, а отношение (Ан/Ад) растет от 1,6 до 3,7. Но при дальнейшем увеличении температуры от 29 до 34 °С рост (Ан/Ад) сменяется снижением (от 3,7 до 3,0). Это связано с наметившейся тенденцией снижения ночной активности и небольшого увеличения дневной активности для этих температур. Эти качественные различия ночной и дневной активностей для высоких температур (29-34 °С) связаны с тем, что значительная локомоторная активность в ночное время в течении 4-5 часов, приводящая к ЧССа-ЧССп = 35-40 удар/мин, требует значительно больших энергетических затрат, чем при дневной активности (29-34 °С) и при ночной при активности при меньших температурах. Мы считаем, что в условиях высоких температур (29-34 °С) в течение длительных периодов «спонтанной» ночной локомоторной активности ограничение физической активности связано с ухудшением работы мышц, обусловленным изменением биохимии мышечного сокращения. Такое же ограничение физической активности было отмечено [7] у A. Astacus.

При переходе от низких для красноклешневых раков температур (14 °С) к температуре в области теплового комфорта (22-26 °С) обе величины, характеризующие спонтанную активность в дневной (Ад) и ночной (Ан) периоды, показывают значительный рост (в 1,7 и 2,4 раза соответственно). Мы связываем эти различия с тем, что локомоторная активность, наблюдаемая в ходе ночной активности значима при температурах в зоне теплового комфорта и незначительна при низких температурах. Все это позволяет оценить границы зоны теплового комфорта для половозрелых красноклешневых раков от 22 до 29 °С.

Поскольку красноклешневые раки являются перспективным объектом аквакультуры, существует достаточное количество работ, где оцениваются оптимальные температуры только для роста молоди раков [12, 14, 37]. Но температура наибольшей скорости роста не всегда совпадает с температурой, оптимальной для репродукции. Другой подход к определению оптимального температурного диапазона основан либо на приоритетном выборе в эксперименте соответствующих температурных зон, либо на определении диапазона температур, где животные максимально проявляют свойственную виду ночную активность, необходимую для нормального роста и размножения [10, 42, 43]. В нашем исследовании доля реализуемого диапазона значений ЧСС в период «ночной» активности от максимально возможного является валидным показателем ночной активности и физиологической производительности. Зависимость ее от температуры имеет максимум при температуре 29 °С, близкие к этому значения – в диапазоне от 22 °С вплоть до 29 °С, и существенно меньшие – при температурах 14 и 34 °С. Исходя из этого можно определить границы зоны жизнедеятельности красноклешневых раков *Cherax quadricarinatus* (von Martens) первоначально акклимированных к 26 °С: нижняя граница в районе 14 °С, верхняя – выше 34 °С, температурная зона нормальной жизнедеятельности от 22 °С до 29 °С с оптимумом в районе 29 °С. Полученные оценки температурных границ хорошо согласуются с приводимыми в литературе значениями.

Заключение. В работе предложен подход для определения границ зоны температурного комфорта пресноводных раков *Cherax quadricarinatus*, основанный на анализе температурных зависимостей ЧСС, которые раки демонстрируют в условиях абсолютного покоя (ЧССп) в условиях дневной (ЧССд) и ночной (ЧССа) активностей, а также максимального значения ЧСС в условиях стресса (ЧССт).

В лабораторных условиях при адаптации раков в течение 3 суток к последовательно возрастающим температурам (14, 22, 26, 29 и 34 °С) была установлена зона теплового комфорта этих раков (22-29 °С) с точки зрения их активности и оценена граница выживания – не ниже 34 °С.

Conclusions. The approach is proposed for determining the boundaries of the thermal comfort zone of freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*, based on the analysis of temperature dependences of heart rate (HR) that crayfish demonstrate under conditions of absolute rest (HRr), daytime (HRd) and nighttime (HRa) activity, as well as the maximum HR under stress (HRt).

Under laboratory conditions, during acclimation of crayfish for 3 days to successively increasing temperatures (14, 22, 26, 29 and 34 °C), the thermal comfort zone of these crayfish (22-29 °C) was established in terms of their activity, and the survival boundary was estimated to be no lower than 34 °C.

Библиографическийсписок

1. Hochachka P. W., Somero G. N. Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. New York: Oxford University Press, 2002. 466 p.
2. Spaargaren D. H., Achituv Y. On the heart rate response to rapid temperature changes in various marine and brackish water crustaceans. Netherlands Journal of Sea Research. 1977. No. 11 (1). Pp. 107-117.
3. Villarreal H. Effect of temperature on oxygen consumption and heart rate of the Australian crayfish Cheraxtenuimanus (Smith). Comparative Biochemistry and Physiology – Part A: Physiology. 1990. V. 95A. Pp. 189-193.
4. Green J. A. The heart rate method for estimating metabolic rate: a review and recommendations. Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol. 2011. No. 158. Pp. 287-304.
5. Hossain M. A., Lahoz-Monfort J. J., Burgman M. A., Böhm M., Kujala H., Bland L. M. Assessing the vulnerability of freshwater crayfish to climate change. Divers Distrib. 2018. No. 24. Pp. 1830-1843.
6. Ern R., Huong D. T. T., Phuong N. T., Wang T., Bayley M. Oxygen delivery does not limit thermal tolerance in a tropical eurythermal crustacean. J. Exp. Biol. 2014. V. 217. Pp. 809-814.
7. Ern R., Huong D. T. T., Phuong N. T., Madsen P. T., Wang T., Bayley M. Some like it hot: Thermal tolerance and oxygen supply capacity in two eurythermal crustaceans. Sci. Rep. 2015. No. 5. Art. 10743.
8. Stillman J. H., Somero G. N. A comparative analysis of the upper thermal tolerance limits of eastern Pacific porcelain crabs, genus Petrolisthes: influences of latitude, vertical zonation, acclimation and phylogeny. Physiological and Biochemical Zoology. 2000. No. 73. Pp. 200-208.
9. Fry F. E. J. The effect of environmental factors on the physiology of fish. Fish Physiology. London, 1971. V. 6.
10. Wang T., Overgaard J. The heartbreak of adapting to global warming. Science. 2007. No. 315. Pp. 49-50.
11. Борисов Р. Р., Ковачева Н. П., Акимова М. Ю., Паршин-Чудин А. В. Биология и культивирование австралийского красноклешневого рака Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868). М.: Изд-во ВНИРО.
12. Austin C. M. Effect of temperature and salinity on the survival and growth of juvenile red-claw (Cherax quadricarinatus). Freshwater Crayfish. 1995. No. 10. Pp. 419-426.
13. Jones C. M. Effect of temperature on growth and survival of the tropical freshwater crayfish Cherax quadricarinatus (Von Martens) (Decopoda, Parastacidae). Freshwater Crayfish. 1995. No. 8. Pp. 391-398.

14. King C. R. Growth and survival of red-claw crayfish hatchlings (Cherax quadricarinatus von Martens) in relation to temperature, with comments on the relative suitability of Cherax quadricarinatus and Cherax destructor for culture in Queensland. Aquaculture. 1994. No. 122. Pp. 75-80.

15. Richwell A. An assessment of critical thermal maximum (CTmax) of the invasive Australian crayfish, Cherax quadricarinatus, and native macroinvertebrates, Caridinanilotica and Coenagrionidae in Lake Kariba, Zimbabwe. MS thesis, Bindura University of Science Education. Zimbabwe, 2013.

16. Sallehuddin A. S., Kamarudin A. S., Ismail N. Review on the global distribution of wild population of Australian Redclaw Crayfish, Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868). Bioscience research. 2021. V. 18. No. 2. Pp. 194-207.

17. Haubrock P., Oficialdegui F., Yiwen Z., Zeng Z., Patoka J., Yeo D. C. Y., Kouba A. The red-claw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots. Reviews in Aquaculture. 2021. V. 13. Pp. 1488-1530.

18. Rodríguez-Cruz L. D., Torres-Olvera M. J., Durán-Rodríguez O. Y., Juan Pablo R. H. The invasive Australian red-claw crayfish Cherax quadricarinatus Von Martens, 1868: the new threat for biodiversity in the Sierra Gorda Biosphere Reserve, Central Mexican Plateau. Bio Invasions Records. 2023. No. 12 (3). Pp. 819-828.

19. Veselý L., Buřič M., Kouba A. Hardy exotics species in temperate zone: Can «warm water» crayfish invaders establish regardless of low temperatures? Scientific Reports. 2015. No. 5. Art. 16340. Pp. 1-7.

20. Westhoff J. T., Rosenberger A. E. A global review of freshwater crayfish temperature tolerance, preference, and optimal growth. Rev Fish Biol Fisheries. 2016. No. 26 (3). Pp. 329-349.

21. Karplus I., Harpaz S., Hulata G., Segev R., Barki A. Culture of the Australian red-claw crayfish (Cherax quadricarinatus) in Israel. The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh. 2001. No. 53 (1). Pp. 23-33.

22. Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. Новый объект тепловодной аквакультуры – Австралийский красноклешневый рак (Cherax quadricarinatus). Вестник АГТУ. 2008. № 6 (47).

23. Борисов Р. Р., Жигин А. В., Ковачева Н. П., Кряхова Н.В., Никонова И. Н. Биологические аспекты культивирования австралийского красноклешневого рака Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868) в России. Рыбное хозяйство. 2024. № 3. С. 80-92.

24. Badryzlova N., Assylbekova S., Koishybayeva S., Bulavin Y., Makhmetov I., Prospects for growing Australian red claw crayfish (Cherax quadricarinatus) in the industrial conditions of Kazakhstani fish farms. AACL Bioflux. 2024. No. 17 (6). Pp. 2535-2548.

25. Mel'nik E. A., Rublevskaya O. N., Pankova G. A., Kholodkevich S. V., Ivanov A. V., Kornienko E. L., Sladkova S. V., Lyubimcev V. A., Kurakin A. S. Bioelectronic system for toxicological safety control of biologically purified wastewater. Water supply and plumbing. 2013. No. 1. Pp. 7-12.

26. Reynolds J., Souty-Grosset C. Management of Freshwater Biodiversity. Cambridge: University press, 2012. 374 p.

27. Ghanawi J., Saoud I. P. Molting, reproductive biology, and hatchery management of red claw crayfish Cherax quadricarinatus (von Martens 1868). Aquaculture. 2012. V. 358-359. Pp. 183-195.

28. Carreño-León D., Racotta-Dimitrov I., Casillas-Hernández R., Monge-Quevedo A., Ocampo-Victoria L., Naranjo-Páramo J., Villarreal H. Growth, metabolic and physiological response of juvenile Cherax quadricarinatus fed different available nutritional substrates. Aquac. Res. Development. 2014. V. 5. № 2.

29. Nakayama S. M., Ikenaka Y., Muzandu K., Choongo K., Oroszlany B., Teraoka H., Mizuno N., Ishizuka M. Heavy metal accumulation in lake sediments, fish (Oreochromis niloticus and Serranochromis thumbergi), and crayfish (Cherax quadricarinatus) in Lake Itezhi-tezhi and Lake Kariba, Zambia. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2010. V. 59. № 2. Pp. 291-300

30. Kholodkevich S. V., Ivanov, A. V., Kurakin A. S., Kornienko E. L., Fedotov V. P. Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations, J. Environmental Bioindicators. 2008. No. 3 (1). Pp. 3-34.

31. Удалова Г. П., Холодкевич С. В., Сладкова С. В., Иванов А. В., Рымша В. А. Исследование циркадианной активности раков Pontastacus Leptodactys при их многомесячном содержании в протоке речной воды. Ж. эвол. биохимии и физиологии. 2009. Т. 45. № 3. С. 304-312.

32. Сладкова С. В., Сафронова Д. В., Холодкевич С. В. Изучение влияния изменений режимов освещенности, температуры и процесса кормления на кардиоактивность раков-биоиндикаторов в биоэлектронных системах мониторинга качества поверхностных вод. Вестник СПбГУ. Сер. 3. Биология. 2016. Вып. 1. С. 137-149.

33. Сладкова С. В., Холодкевич С. В., Сафронова Д. В., Борисов Р. Р. Кардиоактивность раков Cherax quadricarinatus (von Martens 1868) в различных физиологических состояниях. Принципы экологии. 2017. Т. 6. № 3. С. 40-53.

34. Rovero, Hughes, Whiteley, Chelazzi Estimating the energetic cost of fighting in shore crabs by noninvasive monitoring of heartbeat rate. 2000. No. 59. Pp. 705-713.

35. Styrishave B., Bojsen B. H., Witthofft H., Andersen O. Diurnal variations in physiology and behaviour of the noble crayfish Astacusastacus and the signal crayfish Pacifastacus leniusculus. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 2007. V. 40. № 1. Pp. 63-77.

36. McGaw I. J., Nancollas S. J. Experimental set-up influences the cardiovascular responses of decapod crustaceans to environmental change. Can. J. Zool. 2018. No. 96. Pp. 1043-1052.

37. Кряхова Н. В., Борисов Р. Р., Никонова И. Н. Влияние температуры на питание и рост молоди австралийского красноклешнёвого рака Cherax quadricarinatus (Decapoda, Parastacidae). Вопросы рыболовства. 2024. Т. 25. № 3. С. 169-180.

38. Diaz F., Re A. D., Sierra E., Amador G. Behavioral thermoregulation and critical limits applied to the culture of red claw crayfish Cherax quadricarinatus (Van Martens). Freshwater Crayfish. 2004. No. 14. Pp. 90-98.

39. Pörtner H. O. Oxygen and capacity limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate related stressors in marine ecosystems. J. Exp. Biol. 2010. No. 213. Pp. 881-893.

40. McMahon B. R. Control of cardiovascular function and its evolution in Crustacea. The journal of experimental biology. 2001. V. 204. Pp. 923-932.

41. Angilletta M. J., Huey R. D., Frazier M. R. Thermodinamic effect on organismal performance: Is hotter better? Physiological and biochemical zoology. 2010. V. 83. No. 2. Pp. 197-206.

42. Kivivuori L. A. Temperature selection behavior of cold- and warm-acclimated crayfish (Astacus Astacus (L.)). Thermal Biology. 1994. V. 19. No. 5. Pp. 291-297.

43. Garcı´a-Guerrero, M., Herna´ndez-Sandoval P, Ordun˜a-Rojas J., Corte´s-Jacinto E. Effect of temperature on weight increase, survival, and thermal preference of juvenile red-claw crayfish Cherax quadricarinatus. Hidrobiolo´gica. 2013. No. 23. Pp. 73-81.

References

1. Hochachka P. W., Somero G. N. Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. New York: Oxford University Press, 2002. 466 p.

2. Spaargaren D. H., Achituv Y. On the heart rate response to rapid temperature changes in various marine and brackish water crustaceans. Netherlands Journal of Sea Research. 1977. No. 11 (1). Pp. 107-117.

3. Villarreal H. Effect of temperature on oxygen consumption and heart rate of the Australian crayfish Cheraxtenuimanus (Smith). Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Physiology. 1990. V. 95A. Pp. 189-193.

4. Green J. A. The heart rate method for estimating metabolic rate: a review and recommendations. Comp. Biochem. Physiol. Part A Mol. Integr. Physiol. 2011. No. 158. Pp. 287-304.

5. Hossain M. A., Lahoz-Monfort J. J., Burgman M. A., Böhm M., Kujala H., Bland L. M. Assessing the vulnerability of freshwater crayfish to climate change. Divers Distrib. 2018. No. 24. Pp. 1830-1843.

6. Ern R., Huong D. T. T., Phuong N. T., Wang T., Bayley M. Oxygen delivery does not limit thermal tolerance in a tropical eurythermal crustacean. J. Exp. Biol. 2014. V. 217. Pp. 809-814.

7. Ern R., Huong D. T. T., Phuong N. T., Madsen P. T., Wang T., Bayley M. Some like it hot: Thermal tolerance and oxygen supply capacity in two eurythermal crustaceans. Sci. Rep. 2015. No. 5. Art. 10743.

8. Stillman J. H., Somero G. N. A comparative analysis of the upper thermal tolerance limits of eastern Pacific porcelain crabs, genus Petrolisthes: influences of latitude, vertical zonation, acclimation and phylogeny. Physiological and Biochemical Zoology. 2000. No. 73. Pp. 200-208.

9. Fry F. E. J. The effect of environmental factors on the physiology of fish. Fish Physiology. London, 1971. V. 6.

10. Wang T., Overgaard J. The heartbreak of adapting to global warming. Science. 2007. No. 315. Pp. 49-50.

11. Borisov R. R., Kovacheva N. P., Akimova M. Yu., Parshin-Chudin A. V. Biology and cultivation of Australian red-claw crayfish Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868). Moscow: VNIRO Publishing House.

12. Austin C. M. Effect of temperature and salinity on the survival and growth of juvenile red-claw (Cherax quadricarinatus). Freshwater Crayfish. 1995. No. 10. Pp. 419-426.

13. Jones C. M. Effect of temperature on growth and survival of the tropical freshwater crayfish Cherax quadricarinatus (Von Martens) (Decopoda, Parastacidae). Freshwater Crayfish. 1995. No. 8. Pp. 391-398.

14. King C. R. Growth and survival of red-claw crayfish hatchlings (Cheraxquadricarinatus von Martens) in relation to temperature, with comments on the relative suitability of Cherax quadricarinatus and Cherax destructor for culture in Queensland. Aquaculture. 1994. No. 122. Pp. 75-80.

15. Richwell A. An assessment of critical thermal maximum (CTmax) of the invasive Australian crayfish, Cherax quadricarinatus, and native macroinvertebrates, Caridinanilotica and Coenagrionidae in Lake Kariba, Zimbabwe. MS thesis, Bindura University of Science Education. Zimbabwe, 2013.

16. Sallehuddin A. S., Kamarudin A. S., Ismail N. Review on the global distribution of wild population of Australian Red-claw Crayfish, Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868). Bioscience research. 2021. V. 18. No. 2. Pp. 194-207.

17. Haubrock P., Oficialdegui F., Yiwen Z., Zeng Z., Patoka J., Yeo D. C. Y., Kouba A. The red-claw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots. Reviews in Aqua-culture. 2021. V. 13. Pp. 1488-1530.

18. Rodríguez-Cruz L. D., Torres-Olvera M. J., Durán-Rodríguez O. Y., Juan Pablo R. H. The invasive Australian red-claw crayfish Cherax quadricarinatus Von Martens, 1868: the new threat for biodiversity in the Sierra Gorda Biosphere Reserve, Central Mexican Plateau. Bio-Invasions Records. 2023. No. 12 (3). Pp. 819-828.

19. Veselý L., Buřič M., Kouba A. Hardy exotics species in temperate zone: Can «warm water» crayfish invaders establish regardless of low temperatures? Scientific Reports. 2015. No. 5. Art. 16340. Pp. 1-7.

20. Westhoff J. T., Rosenberger A. E. A global review of freshwater crayfish temperature tolerance, preference, and optimal growth. Rev Fish Biol Fisheries. 2016. No. 26 (3). Pp. 329-349.

21. Karplus I., Harpaz S., Hulata G., Segev R., Barki A. Culture of the Australian red-claw crayfish (Cherax quadricarinatus) in Israel. The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh. 2001. No. 53 (1). Pp. 23-33.

22. Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V. The new object of the warm-water aquaculture – Australian red-claw crayfish (Cherax quadricarinatus). News of the ASTU. 2008. No. 6 (47).

23. Borisov R. R., Zhigin A. V., Kovacheva N. P., Kryakhova N. V., Nikonova I. N. Biological aspects of cultivation of Australian red-claw crayfish Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868) in Russia. Fish farming. 2024. No. 3. Pp. 80-92.

24. Badryzlova N., Assylbekova S., Koishybayeva S., Bulavin Y., Makhmetov I., Prospects for growing Australian red claw crayfish (Cherax quadricarinatus) in the industrial conditions of Kazakhstani fish farms. AACL Bioflux. 2024. No. 17 (6). Pp. 2535-2548.

25. Mel'nik E. A., Rublevskaya O. N., Pankova G. A., Kholodkevich S. V., Ivanov A. V., Kornienko E. L., Sladkova S. V., Lyubimcev V. A., Kurakin A. S. Bioelectronic system for toxicological safety control of biologically purified wastewater. Water supply and plumbing. 2013. No. 1. Pp. 7-12.

26. Reynolds J., Souty-Grosset C. Management of Freshwater Biodiversity. Cambridge: University press, 2012. 374 p.

27. Ghanawi J., Saoud I. P. Molting, reproductive biology, and hatchery management of red claw crayfish Cherax quadricarinatus (von Martens 1868). Aquaculture. 2012. V. 358-359. Pp. 183-195.

28. Carreño-León D., Racotta-Dimitrov I., Casillas-Hernández R., Monge-Quevedo A., Ocampo-Victoria L., Naranjo-Páramo J., Villarreal H. Growth, metabolic and physiological response of juvenile Cherax quadricarinatus fed different available nutritional substrates. Aquac. Res. Development. 2014. V. 5. № 2.

29. Nakayama S. M., Ikenaka Y., Muzandu K., Choongo K., Oroszlany B., Teraoka H., Mizuno N., Ishizuka M. Heavy metal accumulation in lake sediments, fish (Oreochromis niloticus and Serranochromis thumbergi), and crayfish (Cherax quadricarinatus) in Lake Itezhi-tezhi and Lake Kariba, Zambia. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2010. V. 59. № 2. Pp. 291-300

30. Kholodkevich S. V., Ivanov, A. V., Kurakin A. S., Kornienko E. L., Fedotov V. P. Real time biomonitoring of surface water toxicity level at water supply stations, J. Environmental Bioindicators. 2008. No. 3 (1). Pp. 3-34.

31. Udalova G. P., Kholodkevich S. V., Sladkova S. V., Ivanov A. V., Rymsha V. A. Study of circadian activity of crayfish Pontastacusleptodactylus during their long-term maintenance in river water flow. Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2009. V. 45. No. 3. Pp. 304-312.

32. Sladkova S. V., Safronova D. V., Kholodkevich S. V. Study of the influence of changes in light regimes, temperature and feeding process on the cardioactivity of bioindicator crayfish in bioelectronic systems for surface water quality monitoring. News of the SPbSU. Ser. 3. Biology. 2016. I. 1. Pp. 137-149.

33. Sladkova S. V., Kholodkevich S. V., Safronova D. V., Borisov R. R. Cardio activity of crayfish Cherax quadricarinatus (von Martens 1868) in various physiological states. Principles of Ecology. 2017. V. 6. No. 3. Pp. 40-53.

34. Rovero, Hughes, Whiteley, Chelazzi Estimating the energetic cost of fighting in shore crabs by noninvasive monitoring of heartbeat rate. 2000. No. 59. Pp. 705-713.

35. Styrishave B., Bojsen B. H., Witthofft H., Andersen O. Diurnal variations in physiology and behaviour of the noble crayfish Astacusastacus and the signal crayfish Pacifastacusleniusculus. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. 2007. V. 40. № 1. Pp. 63-77.

36. McGaw I. J., Nancollas S. J. Experimental set-up influences the cardiovascular responses of decapod crustaceans to environmental change. Can. J. Zool. 2018. No. 96. Pp. 1043-1052.

37. Kryakhova N. V., Borisov R. R., Nikonova I. N. Effect of temperature on feeding and growth of juvenile Australian red-claw crayfish Cherax quadricarinatus (Decapoda, Parastacidae). Fishing issues. 2024. V. 25. No. 3. Pp. 169-180.

38. Diaz F., Re A. D., Sierra E., Amador G. Behavioral thermoregulation and critical limits applied to the culture of red claw crayfish Cherax quadricarinatus (Van Martens). Freshwater Crayfish. 2004. No. 14. Pp. 90-98.

39. Pörtner H. O. Oxygen and capacity limitation of thermal tolerance: a matrix for integrating climate related stressors in marine ecosystems. J. Exp. Biol. 2010. No. 213. Pp. 881-893.

40. McMahon B. R. Control of cardiovascular function and its evolution in Crustacea. The journal of experimental biology. 2001. V. 204. Pp. 923-932.

41. Angilletta M. J., Huey R. D., Frazier M. R. Thermodinamic effect on organismal performance: Is hotter better? Physiological and biochemical zoology. 2010. V. 83. No. 2. Pp. 197-206.

42. Kivivuori L. A. Temperature selection behavior of cold- and warm-acclimated crayfish (Astacus Astacus (L.)). Thermal Biology. 1994. V. 19. No. 5. Pp. 291-297.

43. García-Guerrero, M., Hernández-Sandoval P., Orduña-Rojas J., Cortés-Jacinto E. Effect of temperature on weight increase, survival, and thermal preference of juvenile red-claw crayfish Cherax quadricarinatus. Hydrobiology. 2013. Vol. 23. Pp. 73-81.

Информация об авторах

Сладкова Светлана Владимировна, ведущий специалист, Обсерватория экологической безопасности Санкт-Петербургского государственного университета (Российская Федерация, 199178, г. Санкт-Петербург, 10 линия В.О. 33/35 Институт Наук о Земле), Author ID:111804, Scopus ID: 6506371701, ORCID 0000-0002-6090-252X, e-mail: sladkova_sv1@mail.ru

Любимцев Василий Алексеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН "Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (Российская федерация, 199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39), AuthorID: 27044, SPIN-код: 4373-1856, ORCID 0000-0001-62478-0407, Scopus: 56612428700, e-mail: lyubimcev55@mail.ru

Холодкевич Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, научный руководитель лаборатории, Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – обособленное структурное подразделение ФГБУН "Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (Российская федерация, 199178, г. Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39), AuthorID: 20879, SPIN-код: 9593-9834, ORCID 0000-0002-7561-9743, Scopus: 6603429395, e-mail: kholodkevich@mail.ru

Бахарева Анна Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет) (Российская Федерация, 109004, г. Москва, ул. Земляной вал, 73), AuthorID:.270484, Scopus ID: 57218100380, ORCID 0000-0002-7724-2425, e-mail: bahareva.anya@yandex.ru

Кравченко Юрий Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

Authors' Information

Sladkova Svetlana Vladimirovna, Leading Specialist, Environmental Safety Observatory, St. Petersburg State University (Russian Federation, 199178, St. Petersburg, 10th Line, V.O., 33/35), Author ID: 111804, Scopus ID: 6506371701, ORCID 0000-0002-6090-252X, e-mail: sladkova_sv1@mail.ru

Lyubimtsev Vasilii Alekseevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, St. Petersburg Scientific Research Center for Environmental Safety of the Russian Academy of Sciences - the separate structural unit of the St. Petersburg Federal State Budgetary Institution, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 199178, St. Petersburg, 14-ya liniya V.O., 39), AuthorID: 27044; SPIN code: 4373-1856; ORCID 0000-0001-62478-0407; Scopus: 56612428700,e-mail: lyubimcev55@mail.ru

Kholodkevich Sergey Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Academician of the Asian Academy of Sciences (AAS), Scientific director of the laboratory, Chief Researcher, Scientific Research Centre for Ecological Safety RAS – the structural division of the St. Petersburg Federal Research Center Scientific Research Centre for Ecological Safety, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS). (Russian Federation, 199178, St. Petersburg, 14th Line V.O., 39), SPIN-код: 9593-9834; AuthorID: 20879; ORCID 0000-0002-7561-9743; Scopus: 6603429395, e-mail: kholodkevich@mail.ru

Bakhareva Anna Aleksandrovna, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First Cossack University) (Russian Federation, 109004, Moscow, Zemlyanoy Val Str., 73), AuthorID:. 270484, Scopus ID: 57218100380, ORCID 0000-0002-7724-2425, e-mail: bahareva.anya@yandex.ru

Kravchenko Yuri Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: uriy34rus@mail.ru

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-55

THE SUBSTANTIATION OF THE AGRICULTURAL CROPS IRRIGATION DATE DETERMINING METHOD

Bakirov S. M., Kolganov D. A., Eliseev S. S., Abzalov M. A.

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 31.03.2025 Submitted 06.05.2025

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 decision on the date of irrigation of crops is traditionally made by agronomists and is based on recommendations for a specific climatic zone, as well as standards such as GOST R 58331.3-2019. However, current monitoring methods, including the use of weather stations and weather forecasts, do not provide high accuracy and timely irrigation, which negatively affects crop yields and economic efficiency. **Object of research.** The object of research is the process of determining the optimal date of irrigation of crops, taking into account the spatial and depth moisture of the soil and the micro relief of the irrigated area. **Materials and methods.** The work uses methods of hydraulics, irrigation, and agrophysics. Dielectrometric soil moisture sensors were used, taking into account the micro relief of the field, which was assessed using a quadcopter with a mapping resolution of 10×10 cm². To control moisture, sensors with five sensors were used, which register moisture in soil layers from 10 to 60 cm with an annual survey via the LoRaWAN radio channel. The collected data is processed by a developed software system that allows you to build moisture graphs and predict the dynamics for 12 to 24 hours in advance. **Results.** The proposed method provides a more accurate and timely determination of the irrigation date by analyzing the rate of moisture change in different soil layers and taking into account the influence of micro relief and external factors (wind, insolation, and air humidity). The implementation of the method on the experimental field of the Povolzhye educational farm showed improved water consumption control, increased crop yields, and reduced water consumption. **Conclusion.** The integration of hydrological modeling, data automation, and geo information technologies significantly improves the efficiency of crop irrigation management. This approach promotes the rational use of water resources and enhances soil energy efficiency, which is crucial for sustainable agricultural development.

Keywords: *irrigation technologies, soil moisture sensors, irrigation forecasting, irrigation dates, plant water requirements, irrigation rates.*

Citation. Bakirov S. M., Kolganov D. A., Eliseev S. S., Abzalov M. A. The substantiation of the agricultural crops irrigation date determining method. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 493-498 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-55.

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

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

УДК 631.674

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАТЫ ПОЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Бакиров С. М., *доктор технических наук, доцент*
Колганов Д. А., *кандидат технических наук, доцент*
Елисеев С. С., *кандидат технических наук*
Абзалов М. А., *ассистент*

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. Решение о дате полива сельскохозяйственных культур традиционно принимается агрономами и основано на рекомендациях для конкретной климатической зоны, а также стандартах, таких как ГОСТ Р 58331.3-2019. Однако текущие методы мониторинга, включая использование

метеостанций и погодных прогнозов, не обеспечивают высокую точность и своевременность полива, что негативно влияет на урожайность и экономическую эффективность производства. **Объект исследования.** Объектом исследования является процесс определения оптимальной даты полива сельскохозяйственных культур с учетом пространственной и глубинной влажности почвы и микрорельефа орошаемого участка. **Материалы и методы.** В работе применены методы гидравлики, орошения и агрофизики. Использовались диэлькометрические датчики влажности почвы, устанавливаемые с учетом микрорельефа поля, который оценивается с помощью квадрокоптера с разрешением картографирования 10×10 см². Для контроля влажности применяются датчики с пятью сенсорами, регистрирующими влажность в слоях почвы от 10 до 60 см с ежегодным опросом через радиоканал LoRaWAN. Собранные данные обрабатываются разработанной программной системой, позволяющей строить графики влажности и прогнозировать динамику на 12-24 часа вперед. **Результаты.** Предложенный способ обеспечивает более точное и своевременное определение даты полива за счет анализа скорости изменения влажности в различных слоях почвы и учета влияния микрорельефа и внешних факторов (ветер, инсоляция, влажность воздуха). Реализация метода на опытном поле учебного хозяйства «Поволжье» показала улучшение контроля водопотребления, повышение урожайности и снижение расхода воды. **Заключение.** Интеграция гидрологического моделирования, автоматизации сбора данных и геоинформационных технологий позволяет значительно повысить эффективность управления поливом сельскохозяйственных культур. Предложенный способ способствует рациональному использованию водных ресурсов и увеличению энергоэффективности почвы, что критично для устойчивого развития сельского хозяйства.

Ключевые слова: *технологии орошения, датчики влажности почвы, прогнозирование полива, дата полива, водопотребность растений, поливные нормы.*

Цитирование. Бакиров С. М., Колганов Д. А., Елисеев С. С., Абзалов М. А. Обоснование способа определения даты полива сельскохозяйственных культур. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 493-498. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-55.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Орошение сельскохозяйственных культур осуществляется по необходимости в конкретную фазу роста растений [1-3]. Как правило, решение по поливу принимает агроном, который занимается посевом и обработкой культуры. На его решение оказывают влияние рекомендации конкретной климатической зоны и ГОСТР 58331.3-2019 «Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур», в котором указаны оросительные нормы для конкретных культур.

Точность и своевременность подачи воды на поле формирует итоговую урожайность и в результате итоговую прибыль сельхозтоваропроизводителя. Получается так, что своевременность полива зависит от решений агронома. Вместе с агрономом на своевременность и поливную норму оказывает влияние техническая оснащенность, объем водоисточника, качество поливной воды, а также компетенции гидротехника и мелиоратора [4-6]. Получается так, что на итоговую прибыль фермера оказывает ряд взаимодействующих факторов, которые влияют на своевременность полива, дату каждого полива.

В настоящий момент фермеры, агрономы и мелиораторы пользуются данными прогнозов погоды, устанавливают собственные метеостанции и различные датчики влажности почвы. Однако эти инструменты не дают конкретных рекомендаций о дате полива, а только лишь предоставляют данные по температуре и влажности воздуха и количестве осадков. Поэтому целью нашей работы является обосновать параметры способа орошения с предоставлением прогноза конкретной даты полива.

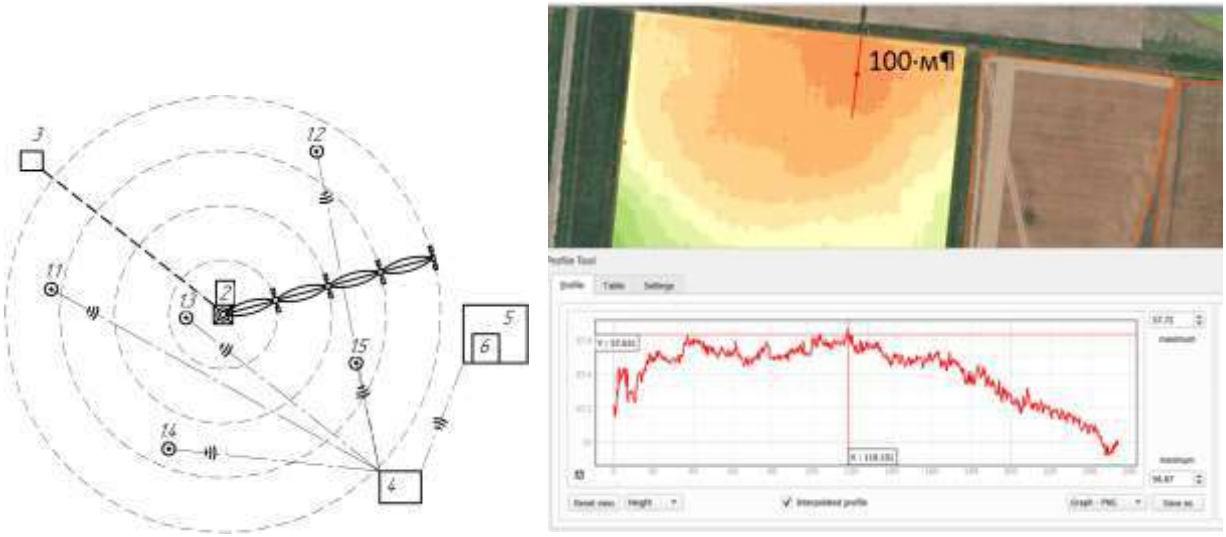
Методы и средства исследования. В работе используются основные законы гидравлики, дисциплины «Оросительные мелиорации» и «Агрофизика». При формировании теоретического обоснования используются данные выпускаемых датчиков влажности диэлькометрического способа измерения [7, 8].

Методика реализации способа основана на том, что влажность почвы измеряется автономными датчиками, расположенными на верхних и нижних отметках микрорельефа площади, охватываемой дождевальной машиной кругового или фронтального действия, и снабженными передатчиками радиосигнала с радиусом действия до 10 км, установленными в почву на глубину 10-50 см, а высота стоек датчиков превышает высоту стебля сельскохозяйственной культуры на 0,5-1,0 м, при этом датчики откалиброваны в единицах объемной влажности и отправляют по радиоканалу данные о влажности почвы каждый час на глубинах, кратных 10 см, на устройство передачи данных, согласно присвоенному номеру

каждого датчика. Передача общих данных со всех датчиков осуществлялась с помощью устройства терминала ЭРА-ГЛОНАСС FORT-112EG-M по спутниковой связи ГЛОНАСС на серверный компьютер.

Результаты исследования. Использование датчиков влажности почвы предоставляет объективную оценку реального состояния о потребности воды. С учетом повышения репрезентативности данных опишем параметры нового способа орошения на основе данных с датчиков влажности почвы.

Во-первых, датчики влажности устанавливаются на орошаемом участке в зависимости от микрорельефа почвы. Допустим, что на поле используем не менее 5 датчиков, из которых два устанавливаются в нижних точках, следующие два – в верхних точках и один – в нейтральной, средней точке микрорельефа. При этом оценка микрорельефа проводится с помощью квадрокоптера с точностью карты 10x10 см^2 (рисунок 1).



а) б)

Рисунок 1 – Расстановка датчиков по полю с учетом микрорельефа орошаемого участка
а) способ описан в ГОСТР 58331.3-2019 «Водопотребность для орошения сельскохозяйственных культур»; б) оценка микрорельефа с помощью квадрокоптера
Figure 1 – Arrangement of sensors in the field taking into account the micro relief of the irrigated area
a) the method is described in GOST R 58331.3-2019 "Water requirement for irrigation of agricultural crops"; b) assessment of micro relief using a quadcopter

Важно при оценке данных влажности вести контроль послойно. Датчики влажности имеют 5 сенсоров для оценки влажности послойно каждые 10 см от 10 до 60 см (рисунок 2). В данном случае можно принять датчики влажности любых производителей.

Рисунок 2 – Расположение сенсоров на одном датчике влажности
Figure 2 – Location of sensors on a single humidity sensor

Сбор данных влажности почвы по слоям осуществляется по разным каналам связи. В учебном хозяйстве «Поволжье» Вавиловского университета, на полигоне опережающего развития мелиорации проведен сбор данных с датчиков влажности послойного контроля в

таблицу (рисунок 3). Сбор данных проводился с помощь функции передачи данных по радиоканалу LoraWan на центральный блок сбора данных, который пакетом через интернет передает данные в установленную таблицу.

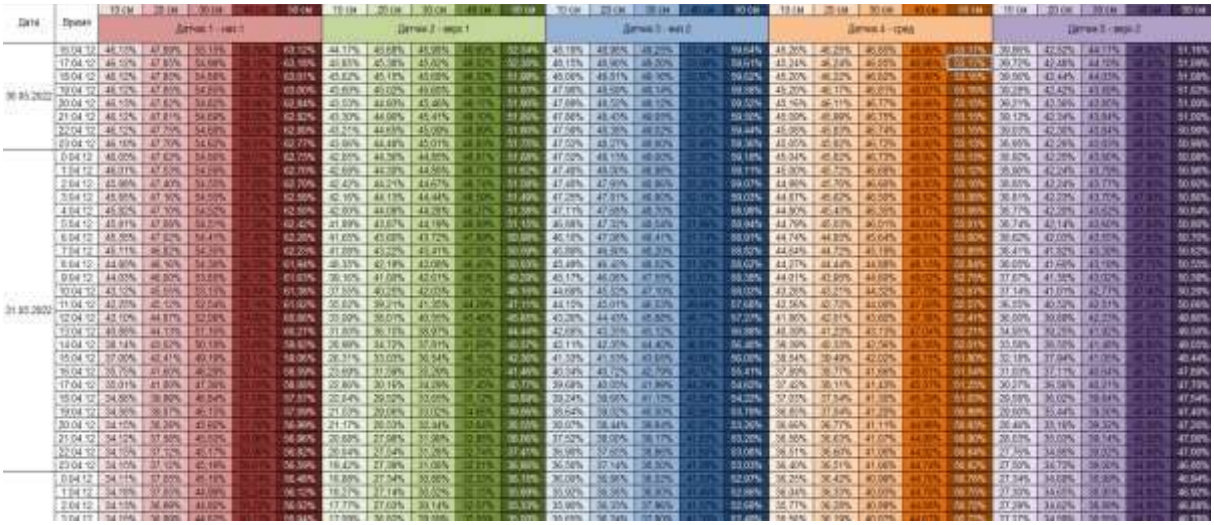


Рисунок 3 – Таблица сбора данных влажности с периодичностью опроса 1 раз в час
Figure 3 – Humidity data collection table with a polling frequency of 1 hour

Массив данных обрабатывается математической моделью с функцией $w = f(t)$, которая строит график с прогнозированием следующего полива за 12-24 часа. Наиболее бесперебойный диапазон передачи данных объемной влажности почвы, представленный в процентах, используется для оценки и прогнозирования изменения влажности.

Изменение влажности почвы зависит от влажности воздуха, скорости ветра, интенсивности инсоляции, что в результате формирует скорость изменения этой случайной величины. Используя простые программы, построим график изменения влажности по данным таблицы (рисунок 4) и покажем принцип прогнозирования изменения влажности в ближайшие 12-24 часа.

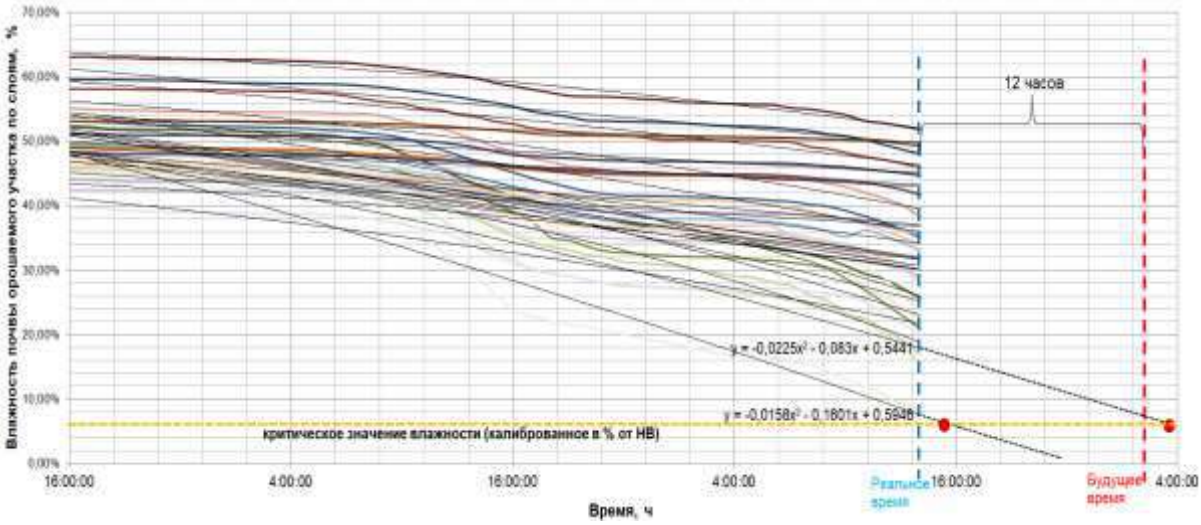


Рисунок 4 – Прогнозирование даты полива за 12-24 часа
Figure 4 – Predicting the watering date 12-24 hours in advance

Судя по собранным данным изменения влажности на рисунке 4, влажность почвы на поле изменяется с 45 % до 65 % в начальной фазе измерения. Это связано с тем, что датчики установлены в разных точках микрорельефа почвы и определяют уровень влажности в слоях корневой системы, в грунте от 10 до 50 см (один датчик фиксирует пять значений в час). Продлевая линию тренда по данным линий графика с прогнозом на продол-

жительность t 12-24 часа так, чтобы она пересекла критическое значение объемной влажности для данной культуры (прерывистая оранжевая линия на рисунке 4), получим дату следующего полива. Однако в данном массиве изменяющихся значений влажности необходимо выбрать приоритетный датчик.

Примем допущение, что приоритетный датчик влажности определяется в зависимости от скорости изменения влажности на слоях 10 и 20 см одного датчика. Выделим два датчика № 1 и № 2 и продлим линии тренда (рисунок 5).

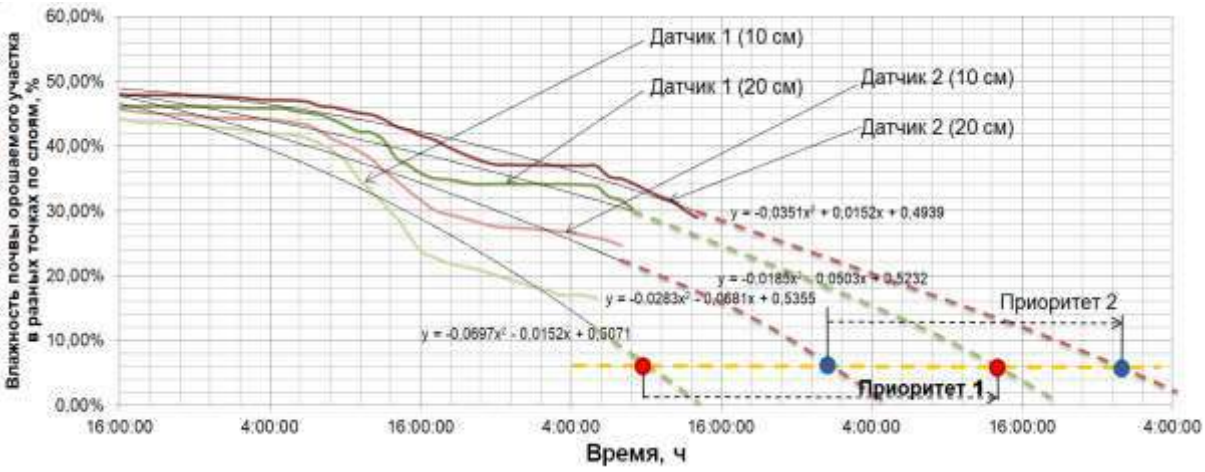


Рисунок 5 – Графическое определение приоритетного датчика влажности
Figure 5 – Graphical determination of the priority humidity sensor

Критическое значение влажности определяется в процентах наименьшей влагоемкости почвы в каждом конкретном случае экспериментально (прерывистая оранжевая линия на рисунке 5). Решение о выборе приоритетного датчика предложено принять по значению скорости изменения влажности на слоях 10 и 20 см одного датчика является теоретическим и требует дальнейшего исследования для конкретного поля с использованием математического анализа зависимости y = f (x, t), как показаны уравнения регрессии на рисунке 5 с расчетом дифференциала изменения влажности.

Заключение. Таким образом, предложенный способ определения даты полива, основанный на данных датчиков влажности почвы, позволяет расширить знания и варианты принятия решения об определении своевременной даты полива. Предложенный способ полива зависит от точности данных, получаемых с датчиков влажности почвы, вариантов расстановки датчиков. Установлено, что наилучшее расположение датчиков: два датчика в низшей геодезической точке, два датчика в высшей геодезической точке и один датчик в произвольной средней точке поля. Наименьшее количество датчиков для данного способа – 5 шт. Конкретные точки определяются на основе геодезической съемки беспилотного летательного аппарата. Структурирование получаемых данных влажности по слоям почвы от 10 до 50 см в DataScience создает основу использования и накопления данных не только для принятия решения о поливе, но и для поиска более долгосрочных климатических зависимостей. Для определения точной даты полива за 12-24 часа предложено использование уравнений регрессии и дифференциала изменения влажности во времени до уровня наименьшей влагоемкости почвы для конкретной культуры.

Conclusion. Thus, the proposed method for determining the irrigation date based on soil moisture sensor data allows for expanding knowledge and decision-making options for determining the timely irrigation date. The proposed irrigation method depends on the accuracy of the data obtained from the soil moisture sensors and the placement options. It has been established that the best placement of sensors is two sensors at the lowest geodetic point, two sensors at the highest geodetic point, and one sensor at an arbitrary middle point of the field. The minimum number of sensors for this method is five. Specific points are determined based on the geodetic survey of an unmanned aerial vehicle. Structuring the obtained moisture data by soil layers from 10 to 50 cm in DataScience creates a basis for using and accumulating data not only for making irrigation decisions, but also for finding longer-term climate dependencies. To determine the exact date of timely irrigation in 12-24 hours, it is proposed to use regression equations and the differential of humidity change over time to the level of the lowest moisture capacity of the soil and a particular crop.

Библиографический список

1. Дубенок Н. Н., Майер А. В. Разработка систем комбинированного орошения для полива сельскохозяйственных культур. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 9-19.

2. Соловьев Д., Журавлева Л., Бакиров С. Роботизированный оросительный комплекс с интеллектуальной системой управления «Каскад». XVIII Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития сельскохозяйственного производства в мировой экономике». 2019. С. 145-156.

3. Москвичев А. Ю. Многофункциональное орошение дождеванием полевых культур Нижнего Поволжья. Аграрная наука. 2004. № 6. С. 7-7а.

4. Трубачева Л. В. и др. Целесообразность внедрения перспективных способов полива сельскохозяйственных культур в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края. Аграрный вестник Северного Кавказа. 2019. № 4 (36). С. 71-76.

5. Шульга Е. Ф. и др. Управление сельхозпредприятием с использованием космических средств навигации (ГЛОНАСС) и дистанционного зондирования Земли. Ответственный редактор. 2016. С. 45.

6. Буклагин Д. и др. Цифровые технологии оценки, планирования и прогнозирования использования земель сельскохозяйственного назначения. 2020.

7. Соловьев Д. А. и др. Обоснование формы датчика послойного контроля влажности почвы. Аграрный научный журнал. 2024. № 4. С. 142-149.

8. Егоров Ю. В. и др. Свойства и возможности датчиков влажности для управления поливом. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (147). С. 152-161.

References

1. Dubenok N. N., Mayer A. V. Development of combined irrigation systems for watering agricultural crops. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No 1 (49). Pp. 9-19.

2. Soloviev D., Zhuravleva L., Bakirov S. Robotic irrigation complex with the intelligent control system "Cascade". XVIII International Scientific and Practical Conference "Modern Trends in the Development of Agricultural Production in the Global Economy". 2019. Pp. 145-156.

3. Moskvichev A. Yu. Multifunctional sprinkling irrigation of field crops in the Lower Volga region. Agrarian science. 2004. No 6. Pp. 7-7a.

4. Trubacheva L. V. et al. Feasibility of introducing promising methods of irrigation of agricultural crops in the conditions of the unstable moisture zone of Stavropol region. Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2019. No 4 (36). Pp. 71-76.

5. Shulga E. F. et al. Agricultural enterprise management using space navigation tools (GLONASS) and remote sensing of the Earth. Editor-in-chief. 2016. P. 45.

6. Buklagin D. et al. Digital technologies for assessing, planning and forecasting the use of agricultural land. 2020.

7. Soloviev D. A. et al. Justification of the shape of a sensor for layer-by-layer soil moisture monitoring. Agrarian Scientific Journal. 2024. No 4. Pp. 142-149.

8. Egorov Yu. V. et al. Properties and capabilities of moisture sensors for irrigation control // Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2017. No 1 (147). Pp. 152-161.

Информация об авторах

Бакиров Сергей Мударисович, доктор технических наук, доцент, директор института инженерии и робототехники, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, 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, Саратов, проспект имени Петра Столыпина, 4/3), e-mail: dmi.kolg@mail.ru

Елисеев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, Саратов, проспект имени Петра Столыпина, 4/3), e-mail: s10z@ya.ru

Абзалов Муслим Аликович, аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (Российская Федерация, 410012, Саратов, проспект имени Петра Столыпина, 4/3), e-mail: muslim47464@gmail.com

Authors' Information

Bakirov Sergey Mudarisovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Robotics, Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering named after N. I. Vavilov (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, Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: dmi.kolg@mail.ru

Yeliseyev Sergey Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Acting Head 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), e-mail: s10z@ya.ru

Abzalov Muslim Alikovich, Postgraduate Student, Saratov State University of Genetics, Biotechnology, and Engineering named after N. I. Vavilov (Russian Federation, 410012, Saratov, Pyotr Stolypin Ave., 4/3), e-mail: muslim47464@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-56

THE FISH FARM ARCHITECTURE MODERNIZATION IN ORDER TO INCREASE ITS EFFICIENCY

Kochetkova O. V., Arkov D. P.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kov555@list.ru

Received 22.12.2025 Submitted 26.03.2026

Summary

This paper presents the "As is" architecture of an aquaculture enterprise, analyzes it, and substantiates a decision to modernize it to improve operational efficiency. A promising "To be" architecture for a fish farming enterprise has been developed, clearly visualizing how objects are perceived and controlled by blockchain and IoT technologies. It allows the enterprise to be viewed as a unified system, demonstrating how development strategy elements impact services and business processes, and identifying their relationships with information systems. As a result, of the modernization, the maturity of the enterprise architecture has increased from level 1 to level 4.

Abstract

Introduction. Along with increasing output, the pressing challenges facing Russian fisheries enterprises include improving resource efficiency, optimizing business processes, and deploying a reliable traceability system to enhance transparency, safety, and product quality, while providing detailed product information to consumers. To achieve these objectives and apply sustainable fish farming principles, fisheries enterprises must transition from experience-based management to one based on data analysis and knowledge. This will require reorganizing business processes, changing the business model, and implementing digital technologies. Importantly, management must understand how digital technologies will be implemented and how to balance IT efficiency with business innovation. The solution lies in creating an enterprise architecture that widely utilizes modern digital technologies. **Materials and methods.** To develop the enterprise architecture, we used methods of systems analysis and systems engineering, international standards and reference models for Internet of Things technology, the TOGAF enterprise architecture management methodology, and the ArchiMate architectural language. **Results and conclusions.** The developed models allow us to see the digital enterprise as a whole, reflecting the interaction of its individual architectural elements, from strategy to a detailed description of the enterprise infrastructure. This enables the secure implementation of digital technologies and ensures that the organization's needs for an integrated IT strategy are met, ensuring unified strategic IT development in line with business requirements.

Keywords: *enterprise architecture, fish farming, aquaculture, fisheries enterprises, digital technologies, ArchiMate.*

Citation. Kochetkova O. V., Arkov D. P. The fish farm architecture modernization in order to increase its efficiency. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 499-510 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-56.

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 004:639.3.05

МОДЕРНИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ РЫБОВОДЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Кочеткова О. В., *доктор технических наук, профессор*
Арьков Д. П., *кандидат технических наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Актуальными задачами предприятий рыбного хозяйства РФ наряду с увеличением выпуска продукции являются повышение эффективности использования ресурсов, оптимизация бизнес-процессов, развертывание надежной системы прослеживаемости, позволяющей повысить прозрачность, безопасность и качество продукции, предоставляя подробную информацию потребителю о продукте. Для реализации этих задач и применения принципов устойчивого рыбоводства предприятиям рыбохозяйственного комплекса следует перейти от управления, основанного на опыте, к управлению, основанному на анализе данных и знаниях. Это потребует реорганизации бизнес-процессов, изменения модели ведения бизнеса и внедрения цифровых технологий, а также, что

немаловажно, понимания руководством этих предприятий, каким образом будет обеспечиваться работа цифровых технологий и как обеспечить баланс между эффективностью ИТ и инновациями в бизнесе. Решение этой проблемы заключается в создании архитектуры предприятия, широко использующего современные цифровые технологии. **Материалы и методы.** Для разработки архитектуры предприятия использованы методы системного анализа и системной инженерии, международные стандарты и эталонные модели технологии интернета вещей, методология управления архитектурой предприятия TOGAF и архитектурный язык ArchiMate. **Результаты и выводы.** Разработанные модели позволяют увидеть цифровое предприятие целиком, отражая взаимодействие его отдельных архитектурных элементов от стратегии до подробного описания инфраструктуры предприятия. Это дает возможность обеспечить безопасное внедрение цифровых технологий и гарантирует, что потребности организации в интегрированной стратегии в сфере ИТ удовлетворены и обеспечивают единое стратегическое развитие ИТ в соответствии с требованиями бизнеса.

Ключевые слова: *архитектура предприятия, рыбоводство, аквакультура, предприятия рыбного хозяйства, цифровые технологии, ArchiMate.*

Цитирование. Кочеткова О. В., Арьков Д. П. Модернизация архитектуры рыбоводческого предприятия с целью повышения эффективности его деятельности. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 499-510. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-56.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Промышленное рыбоводство является важным поставщиком белка для потребления человеком. Отрасль стремится удовлетворить растущий спрос на рыбу, но решить это простым увеличением объёмов производства и применением существующих производственных режимов невозможно из-за неоптимизированных методов коммерческой аквакультуры, растущего дефицита кормового сырья, ограниченной доступности мест для разведения рыбы, соответствующих современному уровню технологий, а также ужесточения требований к экологичности [1, 2].

Прудовые рыбоводческие предприятия представляет собой сложную систему, имеющую, в отличие от других предприятий животноводства, дополнительные проблемы, которые усложняют процесс ведения хозяйства. Так, операции по разведению рыбы проводятся в подводной среде, что, как правило, сложнее, чем разведение на суше; кормление и большинство других операций проводятся для всего поголовья, а не для отдельных особей; количество особей на рыбных фермах значительно превышает показатели большинства наземных животноводческих ферм; корм, которым кормят рыбу в прудовых хозяйствах, поставляется исключительно внешними поставщиками, что приводит к сильной зависимости от организации производства.

Основные издержки в разведении рыбы связаны с расходами на корм, капитальными вложениями, затратами на персонал. Поэтому важной задачей для рыбоводческих хозяйств является разработка и нормирование эффективности кормов, что играет существенную роль в обеспечении высокой продуктивности и снижении издержек. Специфической особенностью управления производственными процессами рыбоводческих хозяйств является необходимость постоянно измерять, регистрировать и контролировать не только состояние биологического объекта и среды обитания, но также фактически поступающие к рыбам и в среду их обитания питание, кислород и выполняемые технологические воздействия. Это позволяет выявить закономерности развития животных и формирования продукта производства в зависимости от состава и количества питательных веществ и энергии, параметров среды обитания и состояния рыб. Такие важные процессы, как мониторинг, планирование и контроль могут поддерживаться широким спектром цифровых технологий, аппаратных и программных систем [3]. Кроме того, цифровые технологии являются важным фактором снижения затрат на рабочую силу, повышения продуктивности животных и уменьшения вероятности заболеваний [4].

Следует отметить, что в настоящее время роль этих факторов возрастает в связи с ростом численности выращиваемой рыбы, а также ростом количества крупных ферм, что предъявляет новые, более высокие требования к управлению.

Решить поставленные задачи можно только при использовании цифровых технологий, которые жизненно необходимы для достижения конкурентного преимущества рыбоводческих хозяйств.

Создание модели и режимов формирования условий, обеспечивающих достижение максимизации выпуска продукции или прибыли с учетом имеющихся трудовых и технологических ресурсов также невозможно без применения цифровых технологий. Таким образом, наблюдается повышение роли ИТ в обеспечении эффективности и результативности бизнес-процессов на прудовых рыбоводческих предприятиях, и в связи с этим возникает постоянный рост требований к ресурсным характеристикам информационных систем.

Для эффективного управления рыбоводческим предприятием, представляющим собой сложную, многокомпонентную систему, очень трудно, практически невозможно, согласовывать его части и различные аспекты работы; удерживать в памяти деятельность людей, работу по управлению режимом содержания стада рыб, работу программного обеспечения, аппаратных средств со связью и системным программным обеспечением. Поэтому руководители предприятий рыбоводческой отрасли отмечают, что ими не было найдено реальной очевидной экономической выгоды после внедрения цифровых технологий, или же потребовалось длительное время, чтобы узнать, каким образом с наибольшей отдачей использовать преимущества цифровых технологий.

Избежать эти проблемы поможет разработка модели архитектуры предприятия, представляющая собой формализацию общего видения структуры и деятельности сложной многокомпонентной системы рыбоводческого предприятия в комплексе, а также взаимосвязь структуры и функций бизнес-систем и ИТ-систем в рамках всей организации и единого стратегического развития ИТ в соответствии с требованиями бизнеса.

Архитектура предприятия по сути представляет собой системную модель, которая позволяет контролировать присущую системам сложность, управлять ею в изменяющейся среде, а руководителям иметь целостную картину результатов трансформации предприятия посредством современных информационных технологий.

Архитектура предприятия позволяет принимать стратегические решения на основе целостного взгляда на заранее намеченные цели, изменять управление, избегать дублирующих расходов на ИТ инфраструктуру, а также осуществлять управление рисками проектов [5]. Архитектура позволяет формализовать проблемы и требования к ИТ со стороны бизнеса; показывает, как решаются конкретные задачи и как реализуются требования бизнеса в ИТ системах. Таким образом, разработка архитектуры рыбоводческого предприятия является актуальной и важной задачей, поскольку обеспечивает стабильную и гибкую среду для предприятия.

Реализация архитектуры предприятия требует наличия двух основных компонентов: Framework архитектуры, результатами которого являются артефакты архитектуры (модели, диаграммы, документы) и методологии её внедрения [7].

Чтобы продемонстрировать, как различные компоненты предприятия, такие как организационные единицы, бизнес-процессы, сотрудники и информационные системы взаимосвязаны и работают в целом для достижения целей, сначала разрабатывают архитектуру предприятия «Как есть». Вторым этапом этого процесса является оценка созданной архитектуры по критериям эффективности, результативности, зрелости, качеству результатов и функциональности. По результатам оценки разрабатывают желаемую архитектуру (To be) и представляют план для перехода от имеющейся к желаемой архитектуре предприятия.

Задачей данного исследования является разработка архитектур «Как есть» и «Как будет» типового российского рыбоводческого предприятия.

Материалы и методы. Архитектура предприятия представляет в наглядном виде сложную систему всей организации: стратегию, позиционирование, бизнес-модель, финансы, внутренние политики, информационные системы, а также людей, процессы, информацию и технологии предприятия, их отношения друг с другом и с внешней окружающей средой [8]. Поэтому в основу исследования положены методы системного анализа и системной инженерии.

Теоретическая основа исследования представлена также архитектурным подходом к управлению организацией, функциональным и логическим анализом, требованиями национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 15704-2022 «Моделирование и архитектура предприятия. Требования к стандартным архитектурам и методологиям предприятия» и международного архитектурного стандарта IEEE 1471-2008; включает обобщение отечественной и зарубежной теории и практики создания архитектуры пред-

приятия и результаты, изложенные в трудах ведущих мировых специалистов в этой предметной области. Выполнялись исследования наиболее известных и распространенных методологий в области управления архитектурой на предмет их применимости к деятельности предприятий рыбной отрасли и зрелости компании.

Для создания архитектуры предприятия в исследовании использовалась универсальная платформа TOGAF, которая представляет собой инструмент для создания широкого диапазона разнообразных архитектур и описывает процесс создания артефактов архитектуры. Используемый ею формат описания предоставляет руководству и неспециализированной целевой группе простой для понимания метод по развитию всех слоев архитектуры, адаптации к новым условиям бизнеса и возможности реализации новых планов в компании. Для проектирования архитектуры предприятия использовался открытый и независимый язык моделирования архитектуры предприятия ArchiMate [9]. Этот язык имеет открытый исходный код и бесплатную модель использования, отличается понятным синтаксисом и лаконичностью, возможностью визуализации сложных взаимосвязей между элементами архитектуры, позволяет разрабатывать разнообразные модели для любых предметных областей.

Результаты. На основании изучения и обобщения деятельности российских прудовых рыбоводческих предприятий была разработана архитектура «Как есть» типового предприятия, включающая несколько уровней. Бизнес-уровень описывает бизнес-элементы и их отношения в области бизнес-архитектуры. Прикладной уровень поддерживает бизнес-уровень и описывает элементы архитектуры программного приложения и их взаимосвязи. Уровень инфраструктуры описывает элементы домена ИТ архитектуры и взаимосвязи программного и аппаратного обеспечения.

Первым этапом моделирования архитектуры предприятия выступает описание бизнес-слоя, который представляет, как бизнес-процессы взаимодействуют и поддерживают стратегические цели. Важность бизнес-слоя заключается в том, что он служит основой для проектирования ИТ-решений, позволяет моделировать кросс-функциональное сотрудничество и потоки ценности, а также даёт возможность документировать обоснования изменений в архитектуре предприятия.

При разработке бизнес-слоя архитектуры «Как есть» для рыбоводческого предприятия за основу была принята методика, предложенная в работе [10]. В рамках данного исследования проведена формализация и анализ бизнес-процесса «Выполнить выращивание товарной рыбы по традиционной технологии». Результаты анализа выявили ряд критических проблем, требующих управленческих мер: низкий уровень контролируемости процесса, что снижает общую управляемость бизнеса, затрудняет выявление точек роста, сдерживает развитие предприятия; недостаточная регламентация процессов, проявляющаяся в том, что правила исполнения операций и взаимодействия исполнителей формируются эмпирически, а регламенты существуют лишь в виде повторяющихся практик при отсутствии требуемых нормативных документов [10]. Особое внимание заслуживает неэффективная система учёта: фиксация результатов операций ведётся в разнородных бумажных документах, что провоцирует ошибки в учёте и создаёт риски хищения продукции [10].

Выявленные недостатки обусловливают необходимость реорганизации бизнес-процессов рыбоводческого предприятия с акцентом на стандартизацию процедур, разработку регламентирующей документации, внедрение цифровых инструментов учёта.

Представленная на рисунке 1 модель архитектуры «Как есть» включает слои: Внутренние роли, Бизнес-сервисы, Бизнес-функции, Бизнес-процессы, Сервисы приложений, Приложения, Технологический и Физический уровень.

Анализ текущей архитектуры «Как есть» рыбоводческих предприятий выявил существенные резервы для повышения эффективности. В деятельности предприятий недостаточно активно применяются: прогрессивные средства производства; наукоёмкие технологии; современные методы поддержки принятия решений на основе мониторинга и анализа собранных данных. Это ограничивает потенциал достижения высоких производственных показателей и затрудняет реализацию стратегических целей.

Уровень цифровизации остаётся низким. На текущий момент автоматизированы лишь базовые процессы: учёт кормов; учёт выловленной рыбы; расчёт отклонений производственных параметров от эталонных значений; бухгалтерский учёт.

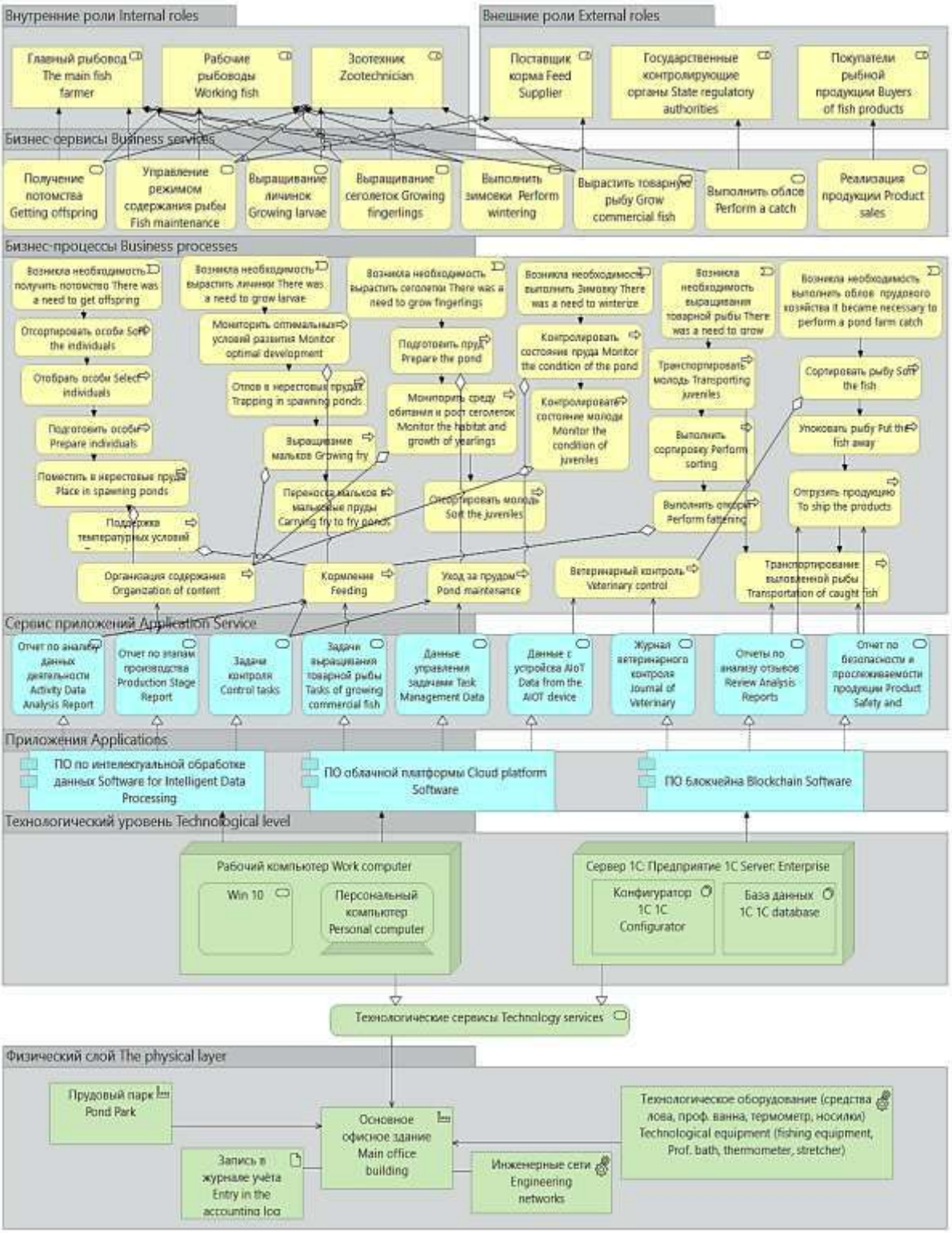


Рисунок 1 – Архитектура рыбоводческого предприятия «Как есть»
Figure 1 – Architecture of a fish farm "As is"

При этом критически важные цифровые системы практически не задействованы. В частности, отсутствуют решения для: отслеживания, сбора, анализа и поддержки на их основе заданных параметров технологических процессов и условий выращивания рыбы, комплексного учёта и контроля, управления производственным оборудованием, интеграции между системами и обмена данными.

В связи с этим ключевым направлением развития становится внедрение цифровых технологий в производственные процессы. Это особенно актуально для ресурсосберегающего и устойчивого выращивания рыбной продукции.

Логично предположить, что в данном случае целесообразно разработать архитектуру рыбоводческого предприятия «Как будет», которая будет отражать широкое применение цифровых инновационных платформ и реализацию стратегических задач бизнеса посредством цифровых технологий, реализуя требование выравнивая бизнеса и ИТ [11].

В настоящее время в практике архитектурного проектирования сложилось мнение, что целесообразно рассматривать архитектуру предприятия, соответствующую трем временным рамкам: сегодня – «Как есть», в ближайшем будущем и в отдаленной перспективе (более трех лет). Очевидно, что архитектура предприятия в отдаленной перспективе должна соответствовать определению «эталонная» и отражать полноценную синхронизацию взаимодействия целей бизнеса и ИТ, а также обеспечивать управление цифровым предприятием через компьютерные системы без риска возникновения непредвиденных и потенциально нежелательных побочных эффектов.

Однако в настоящее время наиболее актуальным и правильным будет решение о разработке архитектуры «Как будет» на ближайшее будущее. Это обусловлено несколькими важными причинами. Во-первых, частыми изменениями в организации бизнеса, в бизнес-процессах, информационных потоках предприятия. Во-вторых, изменением внешнеполитических, социальных и рыночных факторов. В-третьих, быстрыми изменениями в программном и аппаратном обеспечении. Так, в среднем за 3 года наблюдается изменение рынка информационных технологий на 80 %.

На рисунке 2 представлена модель архитектуры «Как будет» предприятия рыбоводства на ближайшую перспективу.

Модель представлена следующими слоями: Цели предприятия, бизнес-возможности, цифровые бизнес-сервисы, Бизнес-процессы, Сервисы приложений, Приложения, Технологическая платформа.

Ключевым отличием представленной целевой архитектуры «Как будет» от текущей «Как есть» выступает её ориентация на комплексную автоматизацию и цифровизацию бизнес-процессов, а также на формирование новых стратегических возможностей. В частности, речь идёт о внедрении систем цифрового управления предприятием, развитии электронных сервисов и совершенствовании механизмов цифрового взаимодействия с клиентами.

В процессе трансформации был создан комплекс цифровых бизнес-сервисов, которые позволяют: отслеживать условия содержания, наблюдать за состоянием рыбы, анализировать качество кормов, контролировать уровень кислорода; проводить аналитическую обработку информации, полученной в ходе мониторинга; следить за состоянием технического оборудования, регулировать использование водных и энергетических ресурсов предприятия.

Модернизация архитектурной модели рыбоводческого предприятия посредством внедрения цифровых технологий заключается в создании интегрированного решения, обеспечивающего взаимодействие решений интернета вещей (IoT) и блокчейна в системе прудового хозяйства. Существенно улучшилось взаимодействие с партнерами и клиентами предприятия за счет возможности находить поставщиков и покупателей, оформлять смарт-контракты, обеспечивать сохранность данных, поддерживать безопасные условия хранения и упаковки продукции, гарантировать безопасность при транспортировке продукции.

Целесообразно применение частного и консорциумного блокчейна благодаря возможности контролировать доступ к данным, что важно для защиты коммерческой информации и соблюдения регуляторных требований в аквакультуре, гибкости в управлении доступом, возможности адаптации под отраслевые требования и способности решать ключевые проблемы прозрачности и безопасности данных.

Для обеспечения способности блокчейн-сети обрабатывать большое число транзакций с низкой задержкой без ущерба для скорости или безопасности целесообразно использовать деление сети на более мелкие, управляемые части – шарды. Каждый шард обрабатывает транзакции независимо, а все шарды обрабатывают информацию одновременно, а не последовательно, что увеличивает пропускную способность и эффективность блокчейна.

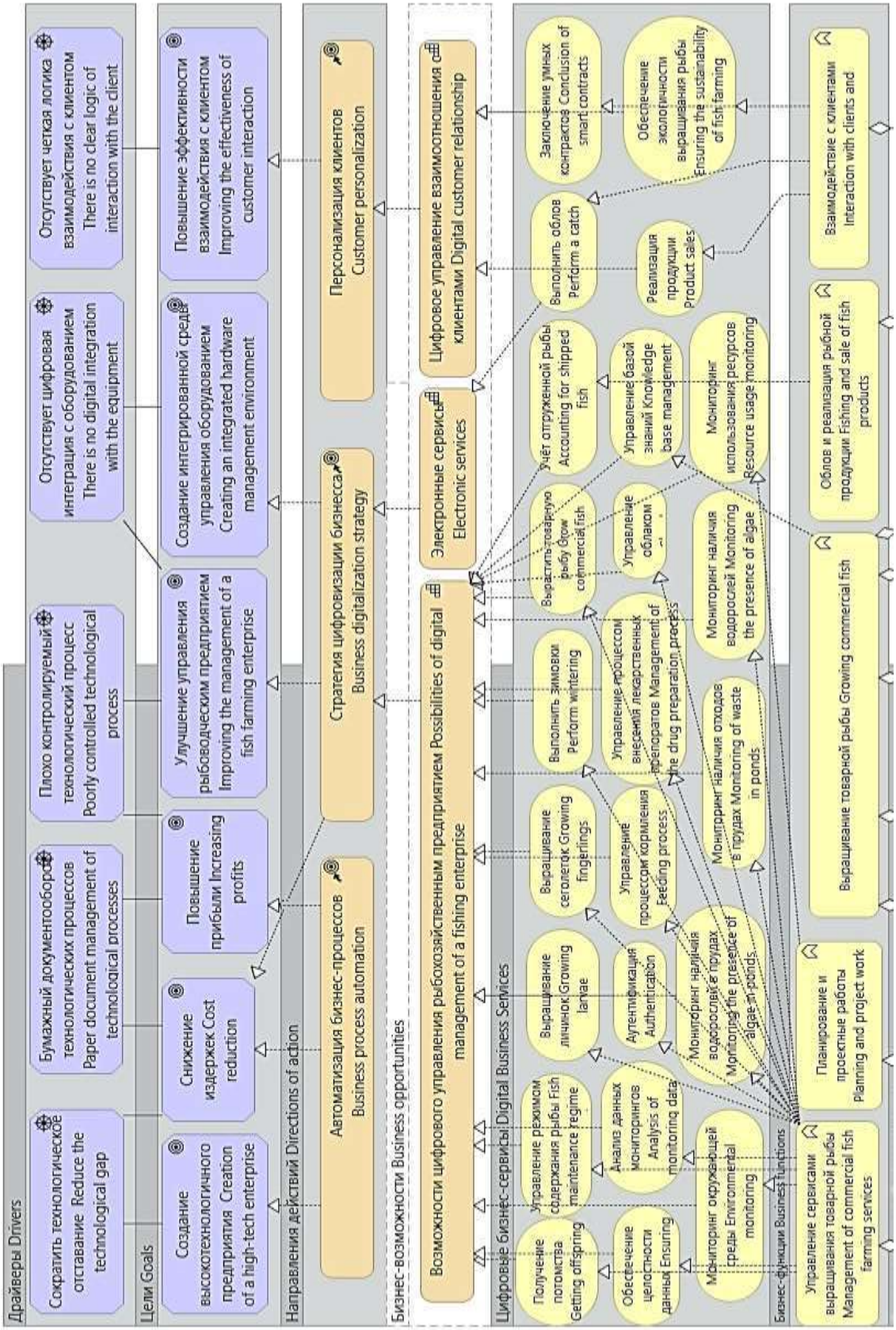


Рисунок 2 – Архитектура рыбоводческого предприятия «Как будет» (часть 1)
Figure 2 – Architecture of a fish farm "To be" (part 1)

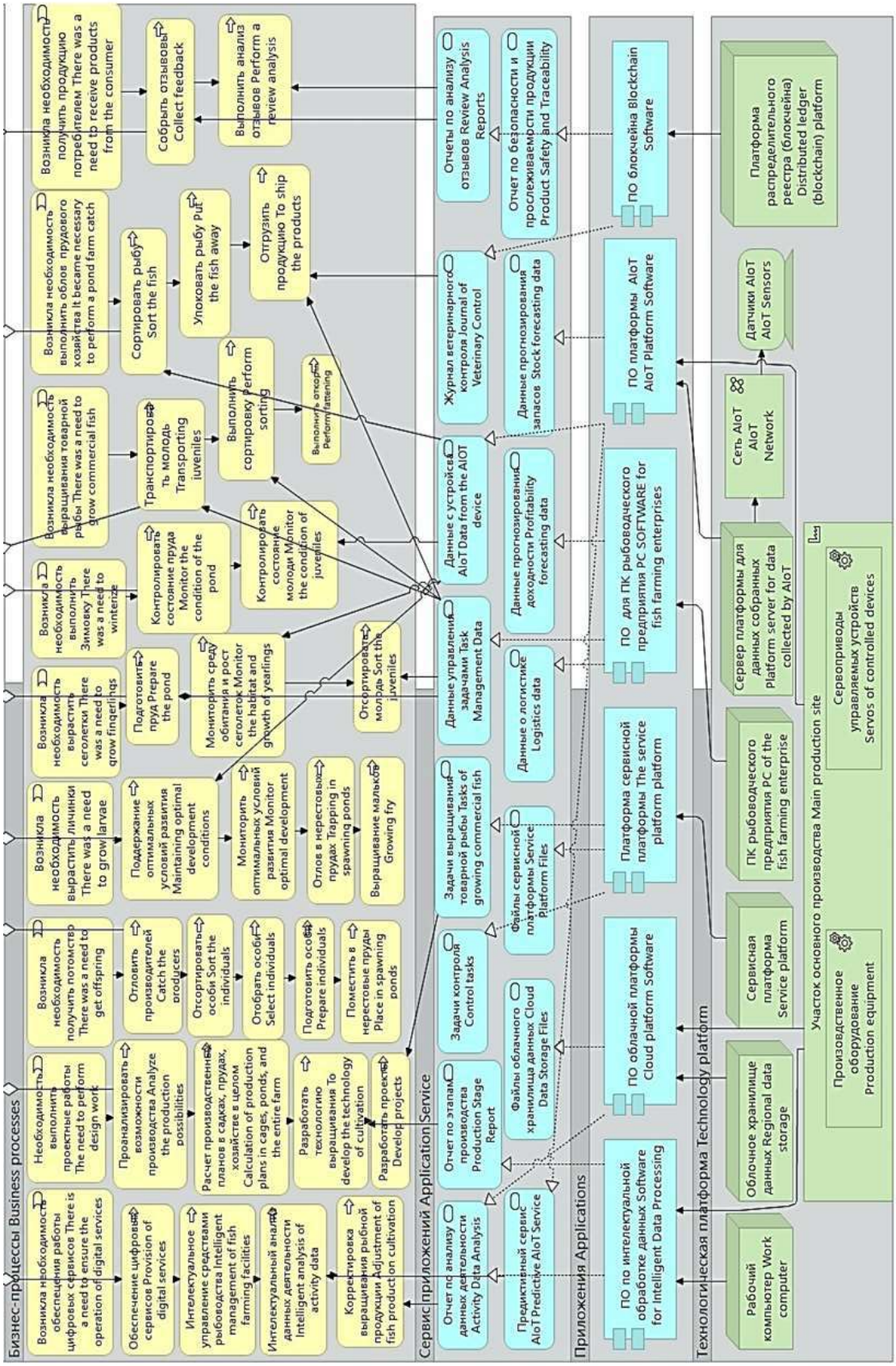


Рисунок 2 – Архитектура рыбоводческого предприятия «Как будет» (часть 2)
Figure 2 – Architecture of a fish farm "To be" (part 2)

Ключевая цель разработки – создание комплексной системы мониторинга и управления рыбоводческим предприятием, обеспечивающей непрерывный контроль параметров содержания рыбы; мониторинг качества и расхода кормов; прослеживаемость производственных процессов; повышение устойчивости технологических операций.

Внедрение цифровых решений в рыбоводческом предприятии позволяет: централизованно координировать ресурсы, интегрированные в IoT-среду, агрегировать данные из разнородных информационных источников. Для обработки данных IoT применяются многоуровневые архитектурные решения, обеспечивающие унифицированное управление на вышестоящем уровне иерархии, интеграцию данных из различных операционных сценариев.

Обсуждение. Предложенная архитектурная модель демонстрирует потенциал цифровой трансформации рыбоводческих предприятий на ближайшую перспективу. Интеграция IoT и блокчейна создаёт основу для повышения прозрачности производственных процессов, оптимизации ресурсного менеджмента, внедрения интеллектуальных систем принятия решений.

Внедрение разработанной перспективной архитектуры рыбоводческого предприятия позволит повысить эффективность производства за счет оптимизации кормового бюджета, снижения трудозатрат и минимизации потерь. Выполнить точную экономическую оценку этих показателей не представляется возможным, поскольку конкретные количественные показатели зависят от масштаба предприятия, вида выращиваемой рыбы, используемых технологий и многих других факторов. Тем не менее, можно сослаться на несколько типовых оценок, зафиксированных в исследованиях и практическом опыте. Автоматизированные кормораздатчики с датчиками активности и программируемыми алгоритмами подачи корма позволяют снизить потери до 30 %. IoT-датчики, контролирующие уровень растворённого кислорода, температуру и другие параметры воды, снижают риск внезапного падежа и помогает сохранить до 20-40 % биомассы в стрессовых условиях. Промышленный интернет снижает затраты на рабочую силу на 25 %, а эксплуатационные расходы на 40 %.

Для оценки проектных решений по разработке моделей архитектуры рыбоводческого предприятия целесообразно произвести сравнение зрелости архитектуры «Как есть» и «Как будет». Модель зрелости архитектуры предприятия позволяет оценить степень развития организации в области архитектурного управления и определить, насколько формализованы процессы, вовлечено руководство, устойчивы результаты и высока способность к постоянному улучшению. Модель зрелости помогает определить текущий уровень развития архитектурного управления; выявить «узкие места» и области для улучшения; задать вектор развития архитектурной практики; обосновать необходимость инвестиций в стандартизацию и автоматизацию; повысить предсказуемость результатов и устойчивость бизнеса [12].

Получили распространение две модели зрелости архитектуры предприятия: модель, разработанная компанией META Group и модель Capability Maturity Model (CMM) [13]. Существенного отличия в этих моделях обнаружить не удалось.

Модель оценки зрелости архитектуры предприятия включает пять уровней. Начальный уровень отличается стихийно формирующимися информационными связями, несогласованными бизнес-процессами, отсутствием у руководства понимания значимости архитектурного подхода. Повторяемый уровень отличается формализацией базовых процессов с повторяемыми операциями и минимальной вовлеченностью руководства в архитектурные вопросы. Определённый (регламентируемый) уровень зрелости предполагает системный контроль над разработкой архитектуры, внедрение стандартизированных процессов, согласование архитектурной модели с миссией и стратегическими целями организации. Управляемый уровень – фаза зрелости: осуществляется непрерывный мониторинг соответствия архитектуры установленным требованиям, контроль стандартов становится жёстким и безусловным, все бизнес-подразделения полноценно вовлечены в архитектурные процессы.

Оптимизирующий уровень зрелости поддерживает принцип непрерывного совершенствования, способность системы к самоадаптации в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды, проактивное управление архитектурными изменениями с учётом перспективных требований [14].

На каждом уровне моделей прослеживается эволюция девяти ключевых аспектов – от зачаточного состояния к зрелой практике. Миссия организации: от отсутствия связи до контролируемого и регулярно пересматриваемого соответствия. Руководство: от непонимания ценности до активного участия в оптимизации. Бизнес-подразделения: от сопротивления до полноценного вклада и применения рекомендаций. Корпоративная архитектура проходит путь от полного отсутствия до полной интеграции в корпоративную культуру. Профили стандартов эволюционируют от хаотичного выбора решений к систематизированному управлению. Контроль стандартов развивается от отсутствия процедур до формализованного процесса с механизмами коррекции. Управление проектом разработки архитектуры изменяется от разовых инструментов до программы обеспечения результативности. Корпоративная архитектура эволюционирует от разрозненных данных до полных моделей и репозитория. ИТ-закупки изменяются от отсутствия стратегии до интегрированной оценки поставщиков.

Оценка моделей текущей «Как есть» и перспективной «Как будет» архитектур показала, что уровень зрелости архитектуры рыбоводческого предприятия вырос с первого до четвертого уровня зрелости.

Результаты исследования показывают, что цифровые технологии открывают широкие возможности для развития отрасли. Тем не менее остаётся ряд проблем, затрудняющих внедрение цифровых технологий в аквакультуру. Прежде всего, это высокие первоначальные затраты на оборудование, его установку, обслуживание и сопровождение; технологическая сложность и дефицит кадров, которые владеют одновременно знаниями рыбоводства и цифровых технологий в аквакультуре. Следует отметить также проблемы с подключением к интернету; ограничения в хранении данных, проблемы с ИТ-безопасностью из-за массового обмена данными между производственными системами.

Заключение. Разработанная на ближайший период перспективная архитектура рыбоводческого предприятия является основой для синхронизации всех объектов внутри организации, обеспечивает согласованность ИТ инфраструктуры и бизнес-целей; сбор, целостность, анализ и непротиворечивость данных, которые поддерживают принятие управленческих решений.

Основой ИТ архитектуры являются технологии интернета вещей и распределенного реестра, обеспечивающие предоставление цифровых сервисов мониторинга, безопасности, прослеживаемости, аналитики. Модель архитектуры наглядно визуализирует, как объекты воспринимаются и контролируются технологиями блокчейна и IoT, позволяет рассмотреть предприятие как единую систему, продемонстрировать, как элементы стратегии развития воздействуют на сервисы и бизнес-процессы, и выявить их взаимосвязь с информационными системами.

Разработанная перспективная архитектура предприятия при правильной организации её использования позволит достичь в полной мере определённого (регламентируемого) и частично управляемого уровня зрелости, что вполне соответствует требованиям всех заинтересованных сторон в настоящее время. Кроме того, она послужит основой для создания более совершенной архитектуры, соответствующей пятому (оптимизирующему) уровню зрелости. Дальнейшее развитие архитектуры предполагает развитие цифровых решений, их масштабирование и адаптацию к специфике различных типов рыбоводческих хозяйств.

Несмотря на то, что рыбоводство связано с обширными и сложными процессами, а управление информационной системой, подключение и развертывание датчиков, а также преобразование данных представляют собой непростую задачу, в настоящее время для этого существуют значимые предпосылки. Уже разработаны эффективные инструменты управления производственными процессами рыбоводческих предприятий, включающие в себя дроны, нано- и микродатчики, бионические роботы, дистанционные камеры, интеллектуальную сортировку, энергосберегающее технологическое оборудование, статистические модули и алгоритмы [15]. Созданы различные сервисы системы цифровых двойников, архитектуры машинного и глубокого обучения, интегрированные в функции искусственного интеллекта, которые способны анализировать большие объёмы данных для прогнозирования и оптимизации процессов в поддержку принятия решений на основе данных на предприятиях аквакультуры [16].

Эти инструменты повышают эффективность отслеживания, кормления, выявления болезней, прогнозирования роста, мониторинга окружающей среды и других процессов, что является ключом к повышению эффективности и устойчивости предприятий рыбоводства.

Использование описанных разработок позволит создать современное предприятие аквакультуры на цифровой платформе, позволяющей выполнять в реальном времени мониторинг в условиях содержания рыбы, кормов при одновременном обеспечении прослеживаемости

и устойчивости различных процессов, участвующих в производстве. Этот подход позволяет принимать большие данные из нескольких сценариев, что приводит к созданию хранилищ больших данных, где могут применяться методы интеллектуального анализа данных и машинного обучения, даёт возможность анализировать воздействие управленческих решений на прирост и продуктивность рыбы, выявлять отклонения производственных показателей от эталонных значений, а также формировать отчётность – как по отдельным прудам, так и по всему производству в целом.

Conclusion. The prospective architecture of a fish farming enterprise developed for the near future is the basis for synchronizing all objects within the organization, ensuring the consistency of IT infrastructure and business goals, and collecting, analyzing, and ensuring the consistency of data that supports management decisions.

The IT architecture is based on the technologies of the Internet of Things and distributed registry, which provide digital services for monitoring, security, traceability, and analytics. The architecture model clearly visualizes how objects are perceived and controlled by blockchain and IoT technologies, allowing you to view the enterprise as a single system, demonstrate how elements of the development strategy affect services and business processes, and identify their relationship with information systems.

The developed perspective enterprise architecture, if properly organized, will allow to achieve a fully defined (regulated) and partially controlled level of maturity, which is fully in line with the requirements of all stakeholders at the moment. In addition, it will serve as a basis for creating a more advanced architecture that corresponds to the fifth optimizing level of maturity. Further development of the architecture involves the development of digital solutions, their scaling, and adaptation to the specifics of various types of fish farms.

Despite the fact that fish farming is associated with extensive and complex processes, and managing an information system, connecting and deploying sensors, and transforming data is not an easy task, there are currently significant prerequisites for this. Effective tools for managing the production processes of fish farms have already been developed, including drones, nano- and micro-sensors, bionic robots, remote cameras, intelligent sorting, energy-saving technological equipment, statistical modules, and algorithms [15]. Various digital twin system services, machine learning, and deep learning architectures have been integrated into artificial intelligence functions that can analyze large amounts of data to predict and optimize processes in support of data-driven decision-making in aquaculture enterprises [16].

These tools enhance the efficiency of tracking, feeding, disease detection, growth prediction, environmental monitoring, and other processes, which is key to improving the efficiency and sustainability of fish farming enterprises.

The use of the described developments will allow to create a modern aquaculture enterprise on a digital platform, which allows to perform real-time monitoring in the conditions of fish keeping, feed, while simultaneously ensuring traceability and sustainability of various processes involved in production. This approach allows to accept big data from several scenarios, which leads to the creation of big data repositories where methods of data intelligence and machine learning can be applied, gives the opportunity to analyze the impact of management decisions on the growth and productivity of fish, identify deviations of production indicators from reference values, as well as to form reporting - both for individual ponds and for the entire production as a whole.

Библиографический список

1. Bernal-Higuita Faisal et al. Implementation of information and communication technologies to increase sustainable productivity in freshwater finfish aquaculture. Journal of Cleaner Production. 2023. V. 408. Art. 137124.

2. Gutiérrez E., Lozano S., Guillén J. Efficiency data analysis in EU aquaculture production. Aquaculture. 2020. V. 520. Art. 734962.

3. Бабкина О. М. Цифровые технологии системы внутреннего контроля Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2021. Т. 1. Вып. 3. С. 263-271.

4. Вагапова А. Р. Цифровые технологии: возможные области применения в рыбохозяйственном комплексе России. Московский экономический журнал Отраслевая и региональная экономика. 2023.№ 2.

5. Kochetkova O. V., Shiryaeva E. V. Perspective architecture of dairy farming enterprises, using modern digital technologies for sustainable development IOP. OP Conference Series: Earth and Environmental Science. AgroINNOVATION: Innovative Solutions in the Agro-Industrial Complex. Volgograd, 2021. V. 965.

6. Asif Qumer Gill Agile enterprise architecture modelling: Evaluating the applicability and integration of six modelling standards. Information and Software Technologies. 2015. V. 67. Pp. 196-206.

7. Кочеткова О. В. Архитектура информационной системы и архитектура растениеводческого предприятия, использующего технологию IOT. Известия НВ АУК. 2024. № 4 (76). С. 338-347.

8. Industrial automation systems – Requirements for enterprise-reference architectures and methodologies: ISO 15704:2000.

9. Ettahir I., Doumi K. Extended ArchiMate Metamodel with a context-awareness layer for a dynamic Enterprise architecture model. Procedia Computer Science. 2024. V. 239. Pp. 534-540.

10. Арьков Д. П., Кочеткова О. В. Формализация и анализ бизнес-процесса производства рыбы в закрытых водоемах. Известия НВ АУК. 2024. № 5 (77). С. 230-239.

11. Doumi K., Baina S., Baina K. Strategic business and it alignment: representation and evaluation. Journal of Theoretical & Applied Information Technology. 2013. V. 47. No 1.

12. Ettahiri I., Rassam L., Doumi K., Zellou A. An Overview Towards the Assessment and Measurement of Enterprise Architecture Dynamics. Procedia Computer Science. 2025. V. 256. Pp. 300-307.

13. Irit P., Brodsky A., Rusu L. Evaluating Enterprise Architecture Management. Enterprise Information Systems. 2017. V. 11. No 6. Pp. 907-936.

14. Jaideep V., Sugumaran V., Dahanayake A. Towards an Evaluation Framework for Enterprise Architecture Management. Journal of Systems and Software. 2021. V. 177. Art. 110904.

15. Mustafa W. F., Alhassan A.-W., Jiang D.-N., Li G.-L. Sustainable Aquaculture Development: Review of the Role of Cloud Computing, the Internet of Things, and Artificial Intelligence (AI).Rev. Aquacult. 2021. No 13 (4). Pp. 2076-2091.

16. Ubina N. A. et al. Digital twin-based intelligent fish farming with Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT). Smart Agricultural Technology. 2023. V. 5. Art. 100285.

References

1. Bernal-Higuita Faisal et al. Implementation of information and communication technologies to increase sustainable productivity in freshwater finfish aquaculture. Journal of Cleaner Production. 2023. V. 408. Art. 137124.

2. Gutiérrez E., Lozano S., Guillén J. Efficiency data analysis in EU aquaculture production. Aquaculture. 2020. V. 520. Art. 734962.

3. Babkina O. M. Digital technologies of the internal control system. Corporate Governance and Innovative Economic Development of the North. Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University. 2021. V. 1. I. 3. Pp. 263-271.

4. Vagapova A. R. Digital technologies: possible areas of application in the fisheries complex of Russia. Moscow Economic Journal. Branch and regional economics. 2023. № 2.

5. Kochetkova O. V., Shiryaeva E. V. Perspective architecture of dairy farming enterprises, using modern digital technologies for sustainable development IOP. OP Conference Series: Earth and Environmental Science. AgroINNOVATION: Innovative Solutions in the Agro-Industrial Complex. Volgograd, 2021. V. 965.

6. Asif Qumer Gill Agile enterprise architecture modelling: Evaluating the applicability and integration of six modelling standards. Information and Software Technologies. 2015. V. 67. Pp. 196-206.

7. Kochetkova O. V. Architecture of an Information System and the Architecture of a Plant-growing Enterprise Using IOT Technology. Izvestiya NVAUK. 2024. No. 4 (76). Pp. 338-347.

8. Industrial automation systems - Requirements for enterprise-reference architectures and methodologies: ISO 15704:2000.

9. Ettahir I., Doumi K. Extended ArchiMate Metamodel with a context-awareness layer for a dynamic Enterprise architecture model. Procedia Computer Science. 2024. V. 239. Pp. 534-540.

10. Arkov D. P., Kochetkova O. V. Formalization and analysis of the business process of fish production in closed reservoirs. Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp. 2024. No 5 (77). Pp. 230-239.

11. Doumi K., Baina S., Baina K. Strategic business and it alignment: representation and evaluation. Journal of Theoretical & Applied Information Technology. 2013. V. 47. No 1.

12. Ettahiri I., Rassam L., Doumi K., Zellou A. An Overview Towards the Assessment and Measurement of Enterprise Architecture Dynamics. Procedia Computer Science. 2025. V. 256. Pp. 300-307.

13. Irit P., Brodsky A., Rusu L. Evaluating Enterprise Architecture Management. Enterprise Information Systems. 2017. V. 11. No 6. Pp. 907-936.

14. Jaideep V., Sugumaran V., Dahanayake A. Towards an Evaluation Framework for Enterprise Architecture Management. Journal of Systems and Software. 2021. V. 177. Art. 110904.

15. Mustafa W. F., Alhassan A.-W., Jiang D.-N., Li G.-L. Sustainable Aquaculture Development: Review of the Role of Cloud Computing, the Internet of Things, and Artificial Intelligence (AI).Rev. Aquacult. 2021. No 13 (4). Pp. 2076-2091.

16. Ubina N. A. et al. Digital twin-based intelligent fish farming with Artificial Intelligence Internet of Things (AIoT). Smart Agricultural Technology. 2023. V. 5. Art. 100285.

Информация об авторах

Кочеткова Ольга Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID iD 0000-0001-8227-3720, e-mail: kov555@list.ru

Арьков Дмитрий Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, 26), ORCID iD 0000-0001-5675-351X, e-mail: arkov-dmitriy@yandex.ru

Authors' Information

Kochetkova Olga Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd Universitetskyi Ave., 26), ORCID iD 0000-0001-8227-3720, e-mail: kov555@list.ru

Arkov Dmitry Petrovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd Universitetskyi Ave., 26), ORCID iD 0000-0001-5675-351X, e-mail: arkov-dmitriy@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-57

THE AUTOMATED MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR THE COMBINED CUTTING PROCESS BASED ON THE YOLO V8S ARCHITECTURE COMPUTER VISION

[1]Lebed N. I., [1]Tseplyaev V. A., [2]Tseplyaev A. N.,
[1]Fomin S. D., [1]Mulintsev A. I., [1]Aksenov M. P.

[1] Volgograd State Agrarian University
[2]All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center VNIIGiM named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: nik8872@yandex.ru

Received 28.03.2026 Submitted 06.05.2026

Abstract

Introduction. The work is devoted to the implementation of the concept of a hardware and software complex of an intelligent automated system: analysis, identification and localization of objects (potato tubers) in images, involving signal transmission via a COM port to the microcontroller controlling the chopper, as well as adjustment of settings (cutting modes and parameters) via the HMI interface on a smartphone. **Materials and methods of research.** The cross-platform IDE "PyCharm 2025.1.1.1" for the programming language "Python" was used to develop the analysis and identification script. Image processing and dataset preparation were carried out in the application "Free Video to JPG Converter". Dataset labeling and image annotation were performed using the web interface of the cloud service "Roboflow". The neural network was created and trained in the programming language "Python". The initial settings for creating and training the neural network were the pre-trained model of the YOLOv8s architecture with the following main settings: task – object detection; number of training epochs – 50; image size for training – 800x800 pixels, normalized batch size – 64. Work with the PC serial port was implemented in the Serial Port Monitor software. **Research results and conclusions.** A model for identification and localization of objects – potato tubers – was developed based on the architecture of the pre-trained neural network YOLO v8s with the following main indicators when tested on a test set: mean Average Precision – 0.992; mAP50-95 – 0.846. Judging by these data, the model copes well with the classification of potatoes, but there is a small error in determining the background. Based on the model, a concept of a software and hardware complex for an intelligent automated control and monitoring system for the combined cutting process is proposed.

Keywords: *potato tubers, tuber cutters, tuber cutting, combined tuber cutting, cutting processes automation, computer vision.*

Citation. Lebed N. I., Tseplyaev V. A., Tseplyaev A. N., Fomin S. D., Mulintsev A. I., Aksenov M. P. The automated monitoring and control system for the combined cutting process based on the YOLO v8s architecture computer vision. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 511-519 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-57.

Authors' contribution. The authors of this study were directly involved in the formulation of the problem, planning the study, analysis, presentation of conclusions and preparation of proposals for production. The authors of this article have reviewed and approved the final version of the article.

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

УДК 631.363.23:004.932

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОГО РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ «YOLO V8S»

[1]Лебедь Н. И., доктор *технических наук, доцент*
[1]Цепляев В. А., *кандидат технических наук, доцент*
[2]Цепляев А. Н., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
[1]Фомин С. Д., *доктор технических наук, доцент*
[1]Мулинцев А. И., *аспирант*
[1]Аксенов М. П., *кандидат сельскохозяйственных наук, доцент*

[1]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
[2] ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им А. Н. Костякова»
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Работа посвящена реализации концепции программно-аппаратного комплекса интеллектуальной автоматизированной системы: анализа, идентификации и локализации объектов (клубней картофеля) на изображениях, предполагающей передачу сигнала посредством COM-порта на

управляющий измельчителем микроконтроллер, а также корректировку уставок (режимов и параметров резания) посредством HMI-интерфейса на смартфоне. **Материалы и методы исследований.** Для разработки скрипта анализа и идентификации применялась кроссплатформенная IDE «PyCharm 2025.1.1.1» для языка программирования «Python». Работа с изображениями и подготовка датасета (dataset) осуществлялись в приложении «Free Video to JPG Converter». Разметка наборов данных и аннотирование изображений производилось с помощью веб-интерфейса облачного сервиса «Roboflow». Создание и обучение нейронной сети осуществлялось на языке программирования «Python». В качестве исходных настроек создания и обучения нейронной сети использовалась предобученная модель архитектуры «YOLOv8s» со следующими основными настройками: задача – обнаружение объектов; количество эпох обучения – 50; размер изображений для обучения – 800x800 пикселей, нормализованный размер батча – 64. Работа с последовательным портом ПЭВМ осуществлялась в ПО «Serial Port Monitor». **Результаты исследований и выводы.** Разработана модель идентификации и локализации объектов – клубней картофеля, на основе архитектуры предобученной нейронной сети «YOLO v8s» со следующими основными показателями при проверке на тестовой выборке: средняя точность (mean Average Precision) – 0.992; mAP50-95 – 0.846. Судя по этим данным, модель неплохо справляется с классификацией картофеля, но есть небольшая ошибка в определении фона. На основе модели предлагается концепция программно-аппаратного комплекса интеллектуальной автоматизированной системы управления и мониторинга процесса комбинированного резания.

Ключевые слова: *клубнеплоды картофеля, измельчители клубнеплодов, резание клубнеплодов, комбинированное резание клубнеплодов, автоматизация процессов измельчения, компьютерное зрение.*

Цитирование. Лебедь Н. И., Цепляев В. А., Цепляев А. Н., Фомин С. Д., Мулинцев А. И., Аксенов М. П. Автоматизированная система мониторинга и управления процесса комбинированного резания на основе компьютерного зрения архитектуры «YOLO v8s». *Известия НВ АУК.* 2026. 3(87). 511-519. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-57.

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования непосредственно участвовали в постановке проблемы, планировании исследования, анализе, в изложении выводов и подготовке предложений производству. Авторы настоящей статьи изучили и одобрили представленный в окончательном виде вариант статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Ранее авторами был разработан измельчитель корнеклубнеплодов [Патент на полезную модель № 226968 U1 Российская Федерация, МПК B02C 18/02, A01F 29/08. Измельчитель корнеклубнеплодов: № 2024109135: заявл. 04.04.2024; опубл. 28.06.2024 / Н. И. Лебедь, А. Н. Цепляев, В. А. Цепляев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»], реализующий измельчения посредством резания и перепиливания, что достигается сочетанием в различном соотношении указанных способов, позволяя осуществлять комбинированное резания с пониженными энергетическими характеристиками. Однако, для производственных испытаний необходим глубокий мониторинг заявленных процессов, в том числе подсчет количества сырья, а также его сортового и гранулометрического состава, согласно ГОСТ 26545-85. Кроме этого, при реализации технологического процесса посредством сочетания резания и перепиливания необходимо корректировать параметры и режимы рабочих органов в оперативном порядке, что не всегда достижимо ввиду отсутствия анализа характеристик сырья, которое недостижимо с помощью традиционных датчиков усилия. Ранее авторами обосновано различие в характере резания картофеля и свеклы различных товарных сортов: отборного и обыкновенного (для картофеля). Так для обыкновенного товарного сорта позднего картофеля допускается до 5 % увядших клубней с легкой морщинистостью, что сказывается на его физико-механических свойствах в увеличении пластичности и вязкости по сравнению с упругостью. Вышеуказанное изменяет характер резания, так, для уверенного начала разрушения клубня по кромке лезвия ножей необходимо минимизировать предварительное сжатие посредством принудительного перепиливания, что сложно фиксировать посредством традиционных датчиков усилия вследствие необходимости также отличить партии клубней по товарным сортам. Возникает задача в обосновании и оптимизации режимов работы резания, решение которой лежит в точной идентификации характеристик сырья и определении прочностных показателей в оперативном режиме, что достигается посредством глубокого обучения (Deep Learning, DL) искусственных нейронных сетей.

С учетом вышесказанного целью исследований является разработка автоматизированной системы управления и мониторинга процесса комбинированного резания на основе компьютерного зрения. В качестве архитектуры нейронной сети выбран алгоритм обнару-

жения объектов в реальном времени семейства YOLO [1, 5, 6, 7]. Как известно, YOLO решает задачу идентификации и локализации за один проход, модель одновременно предсказывает координаты рамок и классы объектов на изображении [12].

Материалы и методы исследований. На рисунке 1 представлена схема управления процессом комбинированного резания [8, 9, 10]. Измельчитель 1 реализует резание клубней картофеля посредством возвратно-поступательного перемещения ножевой стенки 2, а также перепиливанием в плоскости угла установки ножей [2, 3, 4]. Выбор режимов резания: подключения или исключения способа перепиливания, скорости, амплитуды колебаний ножевой стенки достигается посредством алгоритма, в котором учитывается сорт сырья и начальное усилие при его резании. Мониторинг реализован посредством непрерывного видеонаблюдения цифровой камерой 4 за участком подающего конвейера [11]. Данные с камеры поступают в систему управления 3, включающую персональный компьютер (ЭВМ), где оптический поток обрабатывается посредством нейронной сети для идентификации, локализации и подсчета сырья. Далее при обнаружении сырья с признаками увядания происходит подача сигнала на управляющий микроконтроллер для изменения режимов работы измельчителя, кроме этого для глубокого мониторинга технологического процесса фиксируется усилие с датчиков. Изменение уставок, ручная корректировка режимов, а также визуализация данных с датчиков производятся посредством мобильного приложения по протоколу последовательной передачи данных Modbus RTU, реализованному через Bluetooth-соединение.

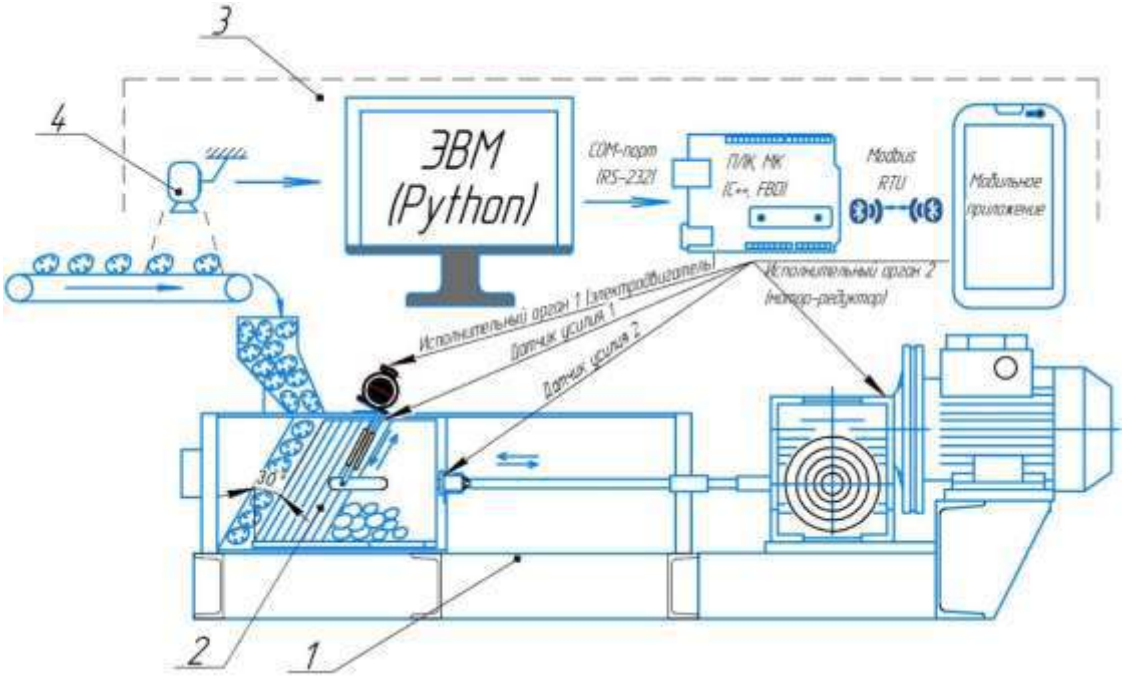


Рисунок 1 – Схема системы управления процессом комбинированного резания измельчителем корнеклубнеплодов: 1 – измельчитель корнеклубнеплодов; 2 – ножевая стенка; 3 – система управления; 4 – цифровая камера
Figure 1 – Schematic diagram of the control system for the combined cutting process of a root crop chopper: 1 – root crop chopper; 2 – knife wall; 3 – control system; 4 – digital camera

В первом приближении предлагается реализовать комплекс программного обеспечения интеллектуальной автоматизированной системы следующим образом: для анализа и идентификации объектов на изображениях – скрипт на языке программирования «Python», предполагающий передачу сигнала посредством COM-порта на управляющий измельчителем микроконтроллер, чье ПО реализовано на «C++», визуализацию режимов, параметров и данных с датчиков, а также корректировка уставок посредством HMI-интерфейса на смартфоне с установленным ПО «KaScada», где предварительно построена мнемосхема технологического процесса.

Для разработки скрипта анализа и идентификации применялась кроссплатформенная интегрированная среда разработки «PyCharm 2025.1.1.1» для языка программирования «Python». Работа с изображениями и подготовка датасета (dataset): «Free Video to JPG Converter» – приложение для преобразования видеофайлов в графический формат JPG, позволяющее создавать скриншоты видеоряда, извлекать кадры из видео файлов. Разметка наборов данных и аннотирование изображений производилось с помощью веб-интерфейса облачного сервиса «Roboflow», всего было использовано 3000 изображений. Создание и обучение нейронной сети осуществлялось на языке программирования «Python».Работа с последовательным портом ПЭВМ осуществлялась в ПО «Serial Port Monitor».

В качестве класса аннотаций использованы клубни картофеля сорта Лорх, находящиеся на неровном промышленном сером фоне (бетонный пол, полотно конвейера).

Результаты исследований и выводы. На рисунке 2 представлена тепловая карта, показывающая, где находятся большинство аннотаций в наборе данных. Цветовые градиенты обозначают количество аннотаций в каждой ячейке сетки, так область с самыми яркими (оранжевыми) цветами указывает на участки с наибольшей плотностью отметок. Более холодные (синие) цвета – областям с меньшим количеством аннотаций. Как видно, большинство аннотированных объектов находятся в центральной части изображений датасета (dataset). Анализируя гистограммы количества объектов по изображениям, можно сделать вывод, что большинство изображений имеет по 11-13 аннотаций каждая.

Рисунок 2 – Тепловая карта аннотаций в наборе данных
Figure 2 – Heat-map of annotations in the dataset

В качестве исходных настроек создания и обучения нейронной сети использовалась предобученная модель архитектуры «YOLOv8s», где указывались следующие настройки: task=detect: задача – обнаружение объектов; epochs=50: количество эпох обучения (сколько раз модель пройдет через весь набор данных); imgsz=800: размер изображений для обучения (800x800 пикселей); plots=True: генерировать графики и сохранять их для визуализации прогресса обучения; нормализованный размер батча – 64.

Подготовленные аннотированные данные внедрялись в сервис «Google Colab» путем загрузки и распаковки набора данных с использованием платформы «Roboflow». Для этого производилась подготовка директории datasets в домашней папке пользователя, установка библиотек ! pip install roboflow==1.1.48 --quiet, импорт и инициализация Roboflow: классы из установленной библиотеки, инициализация объектов с использованием API-ключа; dataset = version.download ("yolov8"): скачивание набора данных, связанного с выбранной версией проекта, в формате "yolov8", скачивание происходило в директорию /content/datasets.

Далее производилось обучение нейронной сети с получением следующих результатов: Class all –метрики рассчитаны для всех классов в наборе данных; Images 9 – количество изображений, использованных в наборе данных (проверочном наборе); Instances 99 – общее количество объектов, размеченных на этих 9 изображениях; Box(P): точность (Precision) для обнаружения ограничивающих рамок. В данном случае, точность равна 1, почти все обнаруженные ограничивающие рамки правильные; R**:** полнота (Recall) для обнаружения ограничивающих рамок, составляет 0.98, модель обнаружила 98 % от всех объектов; mAP50**:** средняя точность (mean Average Precision) при пороге IoU (Intersection over Union) 0.5, значение 0.992 указывает на очень хорошую точность обнаружения; mAP50-95: средняя точность при различных порогах IoU от 0.5 до 0.95. составляет 0.846, что также указывает на хорошую производительность модели; GPU_mem**:** объем памяти GPU, использованный в процессе обучения (5.75 Гб); 50 epochs completed in 0.036 hours**:** обучение заняло 0.036 часа; Optimizer stripped**:** оптимизатор был удален из сохраненных весов модели, чтобы уменьшить размер файла. Веса best.pt содержат наилучшие веса модели, а last.pt – веса с последней эпохи; Model summary**:** информация о структуре модели (168 слоев, 11,125,971 параметров).

В целом, эти результаты указывают на то, что модель хорошо обучена и достигла высокой точности обнаружения объектов на проверочном наборе данных.

На рисунке 3 представлен график матрицы ошибок (confusion matrix), используемый для оценки производительности модели классификации. В данном случае, модель классифицирует изображения как "Kartofel" (картофель) или "background" (фон).

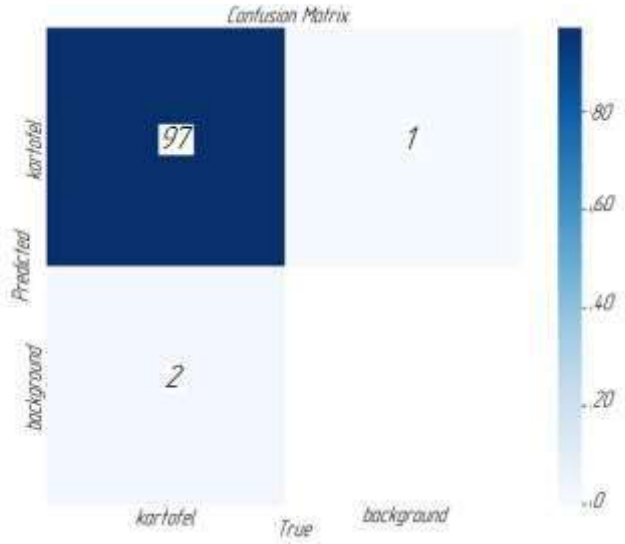


Рисунок 3 – Матрица ошибок
Figure 3 – Confusion matrix

По горизонтальной оси (True) представлены фактические классы, то есть, что на самом деле находится на изображении, по вертикальной оси (Predicted) – классы, предсказанные моделью. Значения в ячейках матрицы показывают: 97 – количество изображений картофеля, которые были правильно классифицированы как картофель (True Positive); 1 – количество изображений фона, которые были ошибочно классифицированы как картофель (False Positive). 2 – количество изображений картофеля, которые были ошибочно классифицированы как фон (False Negative). Судя по этим данным, модель неплохо справляется с классификацией картофеля, но есть небольшая ошибка в определении фона.

На рисунке 4 представлены графики результата обучения модели обнаружения объектов:

- train/box_loss и val/box_loss: графики потерь для ограничивающих прямоугольников (bounding boxes) на обучающей и проверочной выборках. Потеря прямоугольника показывает насколько хорошо модель предсказывает положение и размер объектов. Снижение этой потери во время обучения указывает на то, что модель учится лучше определять местоположение объектов;

- train/cls_loss и val/cls_loss: графики потерь для классификации объектов. Потеря классификации показывает, насколько хорошо модель предсказывает класс объекта. Снижение потери означает, что модель лучше определяет, к какому классу относится объект;

- train/dfl_loss и val/dfl_loss: DFL loss (Distribution Focal Loss) – специальный вид loss, он тоже должен понижаться;

- metrics/precision (B): график точности (precision) для bounding boxes. Точность показывает, какая доля предсказаний модели, помеченных как объекты, действительно является объектами. Высокая точность означает, что модель делает мало ложных срабатываний);

- metrics/recall (B): график полноты (recall) для bounding boxes. Полнота показывает, какую долю всех существующих объектов модель правильно обнаружила. Высокая полнота означает, что модель не пропускает много объектов;

- metrics/mAP50 (B): график средней точности (mean Average Precision) при IoU (Intersection over Union) = 0.5 для bounding boxes (для класса 'B'). mAP – это общая метрика для оценки производительности модели обнаружения объектов. IoU=0.5 означает, что предсказанный bounding box должен перекрываться с фактическим bounding box как минимум на 50 %, чтобы считаться правильным обнаружением;

- metrics/mAP50-95 (B): график средней точности при IoU от 0.5 до 0.95 для bounding boxes. Это более строгая метрика, чем mAP50, поскольку она требует хорошего перекрытия bounding boxes в более широком диапазоне порогов IoU.

В целом графики показывают, что модель очень хорошо обнаруживает объекты класса "Kartofel" с высокой точностью и полнотой. Однако, важно смотреть на динамику изменения этих метрик на обучающей и проверочной выборках. Расхождение между графиками train и val говорит о переобучении.

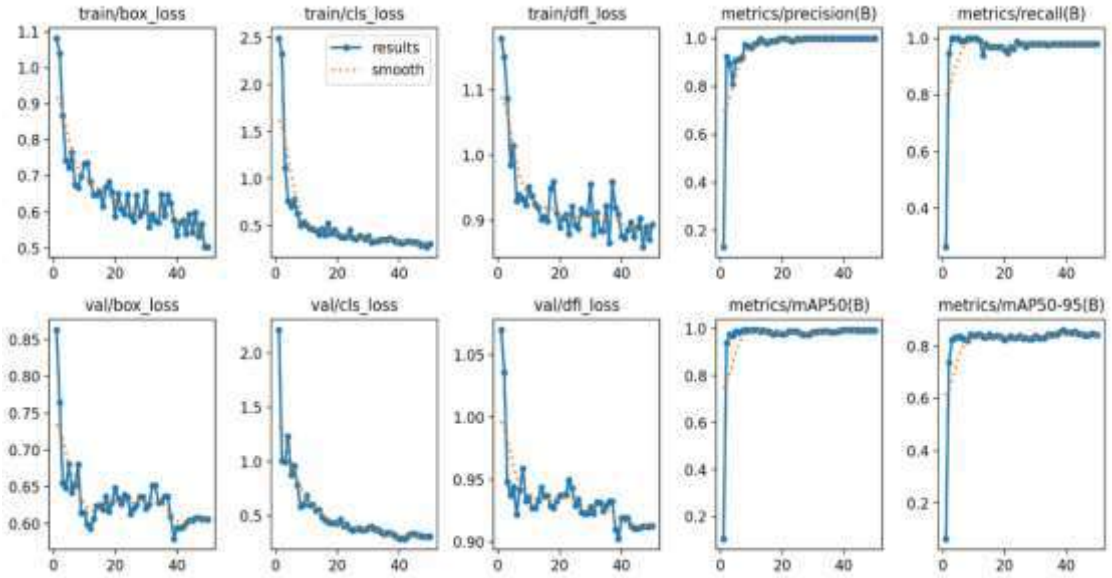
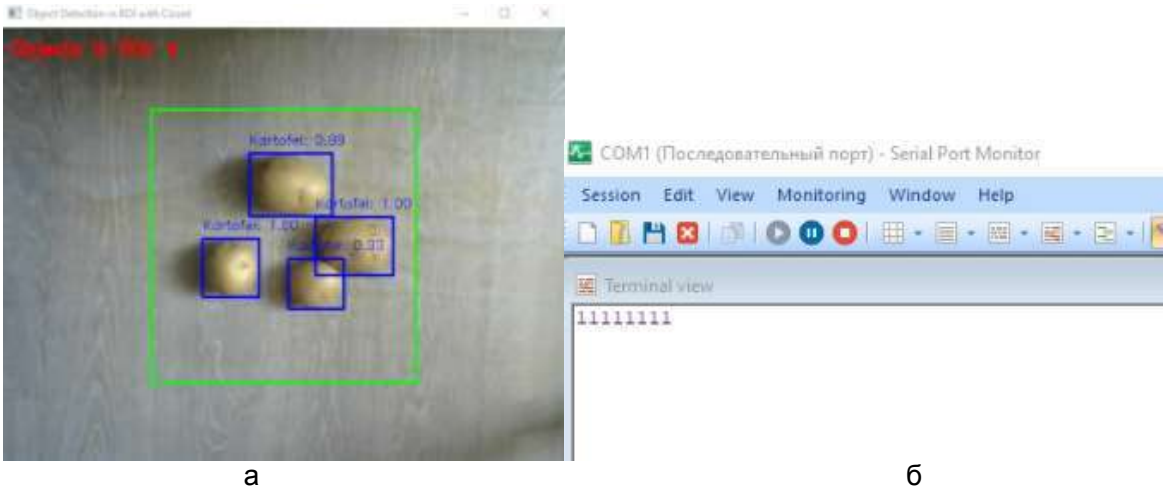


Рисунок 4 – Результаты обучения модели обнаружения объектов
Figure 4 – Results of training the object detection model

Для реализации идентификации объектов, их подсчета нейронной сетью и дальнейшего взаимодействия с системой управления предлагается алгоритм, функционал которого позволяет отправлять сигнал в COM-порт для дальнейшей его обработки с помощью микроконтроллера. На рисунке 5а представлен интерфейс обнаружения цифровой камерой четырех объектов – клубней картофеля с вероятностью 0,99-1,00, подсчет их количества в ограничительных рамках, передача сигнала обнаружения в COM-порт (рисунок 5б). Элемент кода на языке «Python» для работы с портом включает подключение библиотеки, настройку номера порта и скорости передачи данных, а также дальнейшие действия при обнаружении объектов (рисунок 5в).



а б

```
import serial

# Настройка последовательного порта (COM1, скорость 9600)
try:
    ser = serial.Serial( port: 'COM1',  baudrate: 9600)
    print("COM port connected")
except serial.SerialException as e:
    print(f"Error: Could not open COM port. {e}")
    ser = None
```

```
    # Проверка наличия объектов и отправка данных в COM-порт
    if results[0].boxes: # Если есть обнаруженные объекты
        print("Object detected")
        if ser:
            ser.write(b'1')  # отправляем '1' в COM порт
        else:
            print("Cannot write: COM port not available.")
```

в

Рисунок 5 – Процесс идентификации и обнаружения объектов моделью:
а – интерфейс обнаружения цифровой камерой, б – передача сигнала обнаружения в COM-порт,
в – элемент кода на языке «Python» для работы с COM-портом
Figure 5 – The process of identifying and detecting objects using a model:
a – digital camera detection interface, b – transmission of the detection signal to the COM port,
c – Python code element for working with the COM port

Заключение. Разработана модель идентификации и локализации объектов – клубней картофеля, на основе архитектуры предобученной нейронной сети «YOLO v8s» со следующими основными показателями при проверке на тестовой выборке: средняя точность (mean Average Precision) – 0.992; mAP50-95 – 0.846. Судя по этим данным, модель неплохо справляется с классификацией картофеля, но есть небольшая ошибка в определении фона.

Анализируя графики обучения и проверки тестовой выборки можно сказать, что, в частности, при рассмотрении кривой «Precision-Confidence», модель хорошо умеет отделять целевые объекты. Тот факт, что максимальное значение достигается при confidence ~=0.891, говорит о том, что это оптимальная точка для баланса между обнаружением всех объектов (recall) и точностью предсказаний (precision).

Модель очень хорошо обнаруживает объекты класса «Kartofel». Анализ кривых показывает, что можно установить очень низкий порог уверенности и при этом обнаруживать практически все объекты. Резкое падение полноты в конце говорит о том, что при дальнейшем увеличении порога уверенности модель начинает пропускать объекты, что ухудшает полноту.

На основе модели разработана концепция программно-аппаратного комплекса интеллектуальной автоматизированной системы: анализа, идентификации и локализации объектов на изображениях, предполагающая передачу сигнала посредством COM-порта на управляющий

измельчителем микроконтроллер, а также корректировку уставок посредством HMI-интерфейса на смартфоне с установленным ПО «KaScada», где предварительно построена мнемосхема технологического процесса.

Conclusion. A model for the identification and localization of potato tuber objects has been developed based on the architecture of the YOLO v8s pre–trained neural network with the following main indicators when tested on a test sample: mean Average Precision – 0.992; mAP50–95 – 0.846. Judging by these data, the model does a good job of classifying potatoes, but there is the small error in determining the background.

Analyzing the training and validation graphs of the test sample, we can see that, in particular, when considering the "Precision-Confidence" curve, the model is able to separate the target objects well. The fact that the maximum value is achieved at confidence ~=0.891 indicates that this is the optimal point for balancing the detection of all objects (recall) and the accuracy of predictions (precision).

The model detects objects of the "Kartofel" class very well. The analysis of the curves shows that it is possible to set a very low confidence threshold and still detect almost all objects. The sharp drop in completeness at the end indicates that as the confidence threshold is further increased, the model begins to miss objects, which reduces the completeness. Based on the model, a concept has been developed for a software and hardware complex of an intelligent automated system for analyzing, identifying, and localizing objects in images, which involves transmitting a signal through a COM port to a microcontroller controlling the shredder, as well as adjusting settings using an HMI interface on a smartphone with the KaScada software installed, where a process flowchart has been pre-built.

Библиографический список

1. Красноперова А. С. и др. Исследование эффективности применения моделей нейронных сетей YOLO для распознавания объектов на радиолокационных изображениях. Российский технологический журнал. 2025. Т. 13. № 4. С. 25-36.
2. Лебедь Н. И. и др. Имитационное моделирование системы управления измельчителя корнеклубнеплодов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 368-379.
3. Лебедь Н. И. Моделирование системы управления автоматизированного электропривода измельчителя плодоовощной продукции в виртуальной симуляционной среде. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2022. Т. 28. № 2. С. 205-213.
4. Лебедь Н. И. и др. Моделирование системы управления измельчителя плодовоовощной продукции. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 2 (74). С. 323-331.
5. Аязбай А. А., Сергазин Г., Оразалиева С., Байкенов Б. Обучение модели YOLO для распознавания леденцов halls с помощью Maixduino. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2024. Т. 130. № 1. С. 353-362.
6. Фарукшин И. К. и др. Применение нейронной сети YOLO для определения дефектов на бесшовных кольцах. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2024. Т. 24. № 3. С. 26-33.
7. Сагадиев Р. М. Применение алгоритма YOLO в системе учёта автомобильного транспорта. Интернаука. 2025. № 43-1 (407). С. 11-13.
8. Michael Beraún-Espíritu M. et al. Automation in the Food Industry: Design of a Machine for the Cutting of Native Potatoes. E3S Web of Conferences. 2023. V. 465. Art. 02050.
9. Shukhanov S. N., Ovchinnikova N. I., Kosareva A. V., Dorzhiev A. S. Determination of the optimal incline angle of the incision of the cutting machine of the tuber grinder of potatoes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. V. 548. Art. 52026.
10. Liu Yu. et al. Effects of electrolyzed water-ultrasound treatment on pesticide removal in fresh-cut potatoes with different cutting methods. Journal of Food Process Engineering. 2023. V. 46. No. 11.
11. Kolluru V. R., Yedla S. N. Posture and stress detection system using open CV and media pipe. I-manager's Journal on Computer Science. 2024. V. 12. No 2. P. 8.
12. Miharja G. P., Abdul Aziz, Nugraha D. A., Comparative analysis of YOLO and Camshift performance in video-based object tracking. BIMASAKTI: Jurnal Riset Mahasiswa Bidang Teknologi Informasi. 2025. V. 7. No. 2. Pp. 100-110.

References

1. Krasnoperova A. S. et al. Study of the efficiency of using YOLO neural network models for object recognition in radar images. Russian Technological Journal. 2025. V. 13. No. 4. Pp. 25-36.
2. Lebed N. I. et al. Simulation modeling of the control system of a root and tuber crop chopper. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 368-379.
3. Lebed N. I. Modeling the control system of an automated electric drive of a fruit and vegetable shredder in a virtual simulation environment. Bulletin of the Tambov State Technical University. 2022. V. 28. No 2. Pp. 205-213.
4. Lebed N. I. et al. Modeling the control system of a fruit and vegetable shredder. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 2 (74). Pp. 323-331.
5. Ayazbay A. A., Sergazin G., Orazalieva S., Baikenov B. Training the YOLO model for halls lollipop recognition using Maixduino. Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev. 2024. V. 130. No 1. Pp. 353-362.
6. Farukshin I. K. et al. Application of the YOLO neural network for detecting defects on seamless rings. Bulletin of the South Ural State University. Series: Metallurgy. 2024. V. 24, No. 3. Pp. 26-33.

7. Sagadiev R. M. Application of the YOLO algorithm in the vehicle transport accounting system. Internauka. 2025. No 43-1 (407). Pp. 11-13.

8. Michael Beraún-Espíritu M. et al. Automation in the Food Industry: Design of a Ma-chine for the Cutting of Native Potatoes. E3S Web of Conferences. 2023. V. 465. Art. 02050.

9. Shukhanov S. N., Ovchinnikova N. I., Kosareva A. V., Dorzhiev A. S. Determination of the optimal incline angle of the incision of the cutting machine of the tuber grinder of potatoes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. V. 548. Art. 52026.

10. Liu Yu. et al. Effects of electrolyzed water-ultrasound treatment on pesticide removal in fresh-cut potatoes with different cutting methods. Journal of Food Process Engineering. 2023. V. 46. No 11.

11. Kolluru V. R., Yedla S. N. Posture and stress detection system using open CV and media pipe. I-manager's Journal on Computer Science. 2024. V. 12. No 2. P. 8.

12. Miharja G. P., Abdul Aziz, Nugraha D. A., Comparative analysis of YOLO and Camshift performance in video-based object tracking. BIMASAKTI: Jurnal Riset Mahasiswa Bidang Teknologi Informasi. 2025. V. 7. No. 2. Pp. 100-110.

Информация об авторах

Лебедь Никита Игоревич, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Цепляев Виталий Алексеевич, ректор, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), e-mail: volgau@volgau.com

Цепляев Алексей Николаевич, ведущий научный сотрудник, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, профессор кафедры, док-тор технических наук, заведующий Центром наукометрического анализа и междуна-родных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7910-9284, e-mail: fsd_58@mail.ru

Мулинцев Александр Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26).

Аксенов Михаил Петрович, доцент кафедры, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), E-mail: aksenovmp@mail.ru

Authors' Information

Lebed Nikita Igorevich, Professor of the Department, Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Tseplyaev Vitaly Alekseevich, Rector, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: volgau@volgau.com

Tseplyaev Aleksey Nikolaevich, Leading Researcher, Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal State Budgetary Institution FSC VNIIGiM named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), e-mail: can_volgau@mail.ru

Fomin Sergey Denisovich, Professor of the Department, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), ORCID: https: //orcid.org/0000-0001-7910-9284, e-mail: fsd_58@mail.ru

Mulintsev Aleksander Igorevich, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26).

Aksenov Mikhail Petrovich, Associate Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: aksenovmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-58

THE DIGITAL TECHNOLOGY FOR THE ANIMAL HOUSEHOLD FACILITIES POLLUTANT EMISSIONS OPERATIONAL CALCULATION

[1,2]Limarenko N. V., [1]Uspensky I. A., [1]Yukhin I. A., [1]Byshov D. N., [1]Barinova E. V., [1]Kondratyev L. N.

[1]Ryazan Agricultural and Technological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation
[2]Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author E-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Received 13.04.2026 Submitted 06.05.2026

The study was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on the topic: "Development of a digital platform for increasing energy efficiency in the disinfection of lint-free manure."

Summary

The article presents the results of developing a special digital service for calculating emissions of pollutants into the atmosphere from a specific source – a manure storage facility at a pig farm. The developed program is convenient and easy to use, providing significant time savings compared to manual calculations, which allows us to recommend it for use as a working tool.

Abstract

Introduction. Global processes of climate change, population growth, urbanization, and resource scarcity are challenging the global economy, prompting the search for solutions through comprehensive innovation across all sectors. Agriculture one of the leading sectors of the global economy that provides the population with food and industry with raw materials, is undergoing profound transformation in today's market conditions. Large-scale plans for agricultural transformation are linked to digitalization, which has become a global trend, setting a new paradigm for improving the Russian economy. The need to develop this area has determined the relevance and importance of the departmental project "Digital Agriculture." This large-scale transformation of the country's agro-industrial complex is directly linked to the greening of the industry, as sustainable development requires minimizing the negative impact on the environment. Monitoring the negative impacts of technological processes on air, soil, surface water, and groundwater is a key component of sustainable agricultural management. The introduction of modern digital technologies in agriculture, offering effective tools for environmental monitoring and resource management, will reduce release harmful emissions, promote rational use of natural resources, and, consequently, improve the energy efficiency of agricultural enterprises. This article presents an overview of the functionality of a digital service for calculating air pollutant emissions from a specific source, which is a livestock waste management facility – namely, a pig farm manure storage facility. The proposed automated calculation tool minimizes errors associated with accounting for negative impacts, thereby demonstrating high practical relevance. The scientific novelty of the proposed solution lies in the formalization of original calculation models for accounting for negative emissions from livestock farms. **The object of this study** is the process of automating the calculation of air pollutant emissions from sources with negative environmental impacts in the agricultural sector, while its subject is the set of dependences that formalizes these impacts. **Materials and methods.** The market study of existing similar software products was conducted. The key shortcomings of these programs were analyzed, confirming the need to develop an innovative product that would address the identified problems and offer users a transition to a fundamentally new level of precision and usability. **Results and conclusion.** The specialized digital service has been developed as the practical tool that enables quick calculation of pollutant emissions on various digital devices, inclouding smartphones significantly reducesin time costs and increasin employee productivity. The proposed product is characterized by a simple interface, the ability to quickly enter and record information. Pilot testing of the program conducted at two agricultural enterprises confirmed the effectiveness of its application.

Keywords: *digital service, atmospheric emissions calculation, livestock enterprises emissions, livestock waste.*

Citation. Limarenko N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N., Barinova E. V., Kondratiev L. N. The digital technology for the animal household facilities pollutant emissions operational calculation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 519-531 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-58.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 502.175:636+004.9

ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНОГО РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ОБЪЕКТОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

[1,2]**Лимаренко Н. В.,** *доктор технических наук, профессор*
[1]**Успенский И. А.,** *доктор технических наук, профессор*
[1]**Юхин И. А.,** *доктор технических наук, профессор*
[1]**Бышов Д. Н.,** *доктор технических наук, доцент*
[1]**Баринова Е. В.,** *аспирант*
[1]**Кондратьев Л. Н.,** *аспирант*

[1]ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева
г. Рязань, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках Госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на тему: «Разработка цифровой платформы повышения энергетической эффективности при обеззараживании бесподстилочного навоза».

Актуальность. Глобальные процессы изменения климата, роста населения, урбанизации, нехватки ресурсов бросают вызов мировой экономике, подталкивая к поиску способов решения проблем путем полной инновации всех её сегментов. Сельское хозяйство, как одна из ведущих отраслей мировой экономики, обеспечивающих население продовольствием, а промышленность сырьем, в условиях современного рынка находится в процессе глубокой трансформации. Стратегическая

трансформация АПК опирается на цифровизацию – глобальный тренд, определяющий новую модель развития российской экономики. Именно эта потребность подчеркивает актуальность ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство». Крупномасштабный процесс модификации агропромышленного комплекса страны напрямую связан с экологизацией отрасли, поскольку её развитие требует минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Мониторинг процессов негативного воздействия на воздух, почву, поверхностные и подземные воды в ходе выполнения технологических процессов, является важным аспектом. Внедрение в сельское хозяйство современных цифровых технологий, предлагающих эффективные инструменты исследования состояния окружающей среды и управления ресурсами, позволит снизить поступление вредных веществ в компоненты окружающей среды, рационально использовать природные ресурсы, и как следствие, повысить энергоэффективность сельскохозяйственных предприятий. В статье представлен обзор функционала цифрового сервиса расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от конкретного источника, в качестве которого выступает объект процесса обращения с отходами животноводческого предприятия, а именно навозохранилище свиноводческого хозяйства. Предложенный инструмент автоматизированного расчета позволяет минимизировать погрешности, связанные с учётом негативных воздействий представляя тем самым высокую актуальность для практики. Научная новизна предлагаемого решения состоит в формализации оригинальных расчётных моделей учёта негативных выбросов животноводческих хозяйств. **Объект исследования.** Объектом данного исследования является процесс автоматизации оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источников негативного воздействия на окружающую среду в АПК, предметом – зависимости, формализующие данный тип негативных воздействий. **Материалы и методы.** Было проведено исследование рынка существующих аналогичных программных продуктов. Изучены и выявлены ключевые недостатки существующих программ, определена очевидность необходимости разработки прикладного цифрового продукта, который позволит решить выявленные проблемы и предложит пользователям переход на более точный уровень учёта. **Результаты и выводы.** Разработан специализированный цифровой инструмент, позволяющий оперативно осуществлять расчет выбросов загрязняющих веществ на различных цифровых устройствах, что значительно сокращает временные затраты и повышает производительность труда сотрудников. Проведенное пилотное тестирование в условиях двух предприятий демонстрирует достоверность и эффективность предложенного решения.

Ключевые слова: *цифровые сервисы, расчет атмосферных выбросов, выбросы животноводческих предприятий, отходы животноводства.*

Цитирование. Лимаренко Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Баринова Е. В., Кондратьев Л. Н. Цифровая технология оперативного расчета выбросов загрязняющих веществ от объектов животноводства. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 519-531. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-58.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Цифровые решения повсеместно проникают во все сферы современной жизни. В ходе реализации масштабного государственного проекта «Цифровое сельское хозяйство», IT-технологии должны быть активно внедрены в АПК страны уже к 2030 году. Практикой доказано, что цифровизация программ развития сельского хозяйства позволит повысить эффективность землепользования, а также ускорить технологические процессы переработки [1-3].

Цифровизация АПК приобретает особую значимость благодаря его роли в поддержании продовольственной и экономической безопасности страны. Несмотря на то, что с 2014 года на развитие отрасли из бюджета выделялись существенные средства, внедрение цифровых решений в АПК сталкивается с рядом серьезных препятствий, среди которых:

1. Низкий уровень цифровизации управленческих решений и бизнес-процессов в большинстве аграрных предприятий. Текущее состояние вопроса не обеспечивает эффективный сбор, анализ и использование данных о внешней и внутренней среде для задач стратегического и текущего планирования.
2. Недостаточная осведомлённость руководителей и специалистов АПК в части современных цифровых инструментов и научных подходов к управлению производством и сбытом сельхозпродукции.
3. Ограниченная доступность надежных телекоммуникационных услуг для малых и средних сельскохозяйственных компаний [4-6].

Несмотря на активную поддержку цифровизации АПК правительством РФ с 2017 года, только порядка 5 % компаний в этом секторе используют её при реализации и оценке технологических процессов[1]. По данным исследований аналитического центра red_mad_robot[2] основными барьерами цифровой трансформации АПК РФ являются: устаревшая IT-инфраструктура, отсутствие специализированных устройств, нехватка квалифицированных кадров, низкая доля частных инвестиций. Решения, которые могут помочь цифровизации российского АПК – это кардинальное изменение компаниями подхода к замене устаревшей инфраструктуры [7].

Цифровой рынок АПК нуждается в новых IT – продуктах и устройствах. Данная ниша свободна для стартапов и бизнеса. По данным аналитического центра red_mad_robot, бюджеты компаний АПК на разработку цифровых решений составляют порядка 350-400 млрд рублей в год, тогда как в банковском секторе эта цифра превышает 1,6 трлн рублей[3]. Перечисленные факторы обосновывают практическую ценность разработки новых прикладных программных продуктов в части цифровизации АПК. На основании предварительных исследований и анализа практик выявлено, что АПК по своей сути не является быстро трансформирующимся рынком, с точки зрения внедрения инноваций. Глобальный продовольственный кризис и растущий спрос на цифровые сервисы испытывают рынок АПК, одновременно стимулируя его модернизацию [8-10].

В сельском хозяйстве идет процесс технологической перестройки, характерный для этой отрасли в глобальном масштабе. Согласно [7, 11, 12], значимым направлением перестройки является экологизация, как способ продвижения к устойчивому сельскому хозяйству, что также подтверждается исследованиями [13, 14, 15]. Соответственно, разработка таких продуктов как цифровой сервис расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов обращения с отходами и побочными продуктами животноводства является актуальным пунктом реализации программы «Цифровое сельское хозяйство», выступая в качестве предложения на цифровом рынке АПК [16, 17].

Цель исследования – разработка программного продукта автоматизации расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источников негативного воздействия на окружающую среду в процессе обращения с отходами животноводства.

Материалы и методы. Объект исследования – средства и инструменты автоматизации расчётов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источников негативного воздействия на окружающую среду в АПК, предмет – модели, характеризующие влияние и связь свойств выбросов на окружающие био- и агроценозы. На первом этапе работы было проведено исследование рынка существующих программных продуктов по учету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов животноводства. Наиболее активно на цифровом рынке данной сферы продвигаются следующие продукты: «Ферма» 1.2 разработчик – Группа компаний «Интеграл»[4]; «ЭРА-Воздух 50.7.3.2» разработчик – ООО НПП «Логос-Плюс»[5]; «Животноводство» разработчик – ООО «ЭКО-центр»[6]. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика данных цифровых продуктов. Более подробно методика сравнения прикладных программных продуктов описана в работе [14].

Анализ таблицы 1 показал, что представленные на цифровом рынке программные продукты в большей степени предназначены для работы проектных организаций, сложны в использовании для специалиста по охране окружающей среды предприятия, требуют установки только на персональный компьютер, а в большинстве случаев отсутствует вариант установки на смартфон, лишая тем самым пользователя возможности оперативного решения поставленных задач и дистанционной работы.

---

[1] Министерство сельского хозяйства Российской Федерации https://mcx.gov.ru/ministry/departments/dit/news/minselkhoz-nazval-vostrebovannye-v-apk-bashkirii-tsifrovye-servisy/
[2] https://redmadrobot.ru/
[3] https://rb.ru/opinion/
[4] https://integral.ru/shop/72/1316/
[5] https://lpp.ru/catalog/era_vozdukh/50_7_3/
[6] https://eco-c.ru/ecology/программы-для-экологов/методика-ферма/

Таблица 1 – Сравнительная характеристика цифровых продуктов
Table 1 – Comparative characteristics of digital products

№	Характеристика / Description	«Ферма» 1.2 / Ferma 1.2	«ЭРА-Воздух 50.7.3.2» / Era-Vozdukh 50.7.3.2	«Животноводство» / Zhivotnovodstvo
1	2	3	4	5
1	Разработчик / Developer	Группа компаний «Интеграл» / Integral Group of Companies	ООО НПП «Логос-Плюс» / Logos-Plus LLC	ООО «ЭКОцентр» / ECOcentr LLC
2	Назначение / Purpose	Автоматизация расчета выделений (выбросов) вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от объектов животноводства, с учетом климатических особенностей мест их расположения / Automation of calculation of emissions (releases) of harmful (polluting) substances into atmospheric air from livestock facilities, taking into account the climatic features of their location	Расчет и оценка загрязнения атмосферного воздуха / Calculation and assessment of atmospheric air pollution	Экологическое моделирование и расчеты в сфере сельскохозяйственного животноводства / Environmental modeling and calculations in the field of agricultural livestock
3	Основные функции / Main functions	Программа рассчитывает выбросы вредных веществ в атмосферу от содержания птицы (на птицефермах / фабриках), сельскохозяйственных животных (в кошарах /фермах/комплексах) и пушного зверя (на зверофермах в клетках), включая отдельные источники: места содержания, хранение цельного/твердой фракции навоза и жидкой сепарированной фракции / The program calculates emissions of harmful substances into the atmosphere from the keeping of poultry (on poultry farms/factories) farm animals (in kennels/farms/complexes), and fur-bearing animals (on fur farms in cages), including individual sources: places of keeping, storage of whole/solid manure fractions and liquid separated fractions	Программа предлагает автоматизированную методику оценки выбросов загрязняющих веществ от объектов животноводства и птицеводства расчетным методом на основе удельных показателей выбросов. Реализует расчетные алгоритмы по определению максимальных разовых и валовых выбросов загрязняющих веществ, формирование отчетов, оценке воздействия на атмосферу, экологический мониторинг / The program offers the automated methodology for assessing emissions of pollutants from livestock and poultry farming facilities using a calculation method based on specific emission rates. It implements calculation algorithms for determining maximum single-time and total emissions of pollutants, generating reports, assessing atmospheric impact, and conducting environmental monitoring.	Программа рассчитывает объёмы загрязняющих веществ от объектов животноводства, позволяет реализовывать экологический мониторинг сельскохозяйственных предприятий. Инвентаризация источников загрязнения на животноводческих комплексах. Формирование документации по экологическому контролю / The program calculates the amounts of pollutants from livestock facilities and allows for environmental monitoring of agricultural enterprises. Inventory of pollution sources at livestock complexes. Generation of environmental control documentation

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
4	Преимущества / Advantages	По выбору пользователя расчет можно провести в двух вариантах: - согласно документам из "Перечня методик расчета выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух стационарными источниками" Минприроды России – для инвентаризации выбросов загрязнителей; - с учетом не включенных в представленный выше «Перечень...» дополнений к документам – для решения других специфичных задач / At the user's choice, the calculation can be carried out in two variants: - according to the documents from the "List of methods for calculating emissions of harmful (polluting) substances into the atmospheric air by stationary sources" of the Ministry of Natural Resources of Russia – for the inventory of pollutant emissions; - taking into account the additions to the documents that are not included in the above "List..." – for solving other specific tasks	Соответствие нормативным требованиям, автоматизация расчетов, формирование документации для надзорных органов / Compliance with regulatory requirements, automation of calculations, and generation of documentation for supervisory authorities	Модульная структура, гибкая настройка под нужды предприятия, интеграция с другими системами. Позволяет выполнять расчет количественных характеристик выделений загрязняющих веществ анализ воздействия объектов животноводства на окружающую среду, подготовку данных для экологической отчетности, оценку эффективности природоохранных мероприятий / Modular structure, flexible customization to the needs of the enterprise, and integration with other systems. Allows for the calculation of quantitative characteristics of pollutant emissions, analysis of the environmental impact of livestock facilities, preparation of data for environmental reporting, and evaluation of the effectiveness of environmental measures
5	Ограничения / Limitations	Программа не предназначена для установки на мобильные устройства. Это десктопное программное обеспечение, которое требует: - установку на ПК; - наличие электронного ключа защиты (отдельное платное устройство); - работу в среде Windows; - специальных знаний и навыков для работы / The program is not intended for installation on mobile devices. This is a desktop software that requires: - installation on a PC; - an electronic protection key (a separate paid device); - operation in a Windows environment; - special knowledge and skills for operation	Программа не предназначена для установки на мобильные устройства. Это десктопное программное обеспечение, которое требует: - установку на ПК; - специальное программное обеспечение для работы с ГИС-форматами; - необходимые права доступа; - работу в среде Windows; - специальных знаний и навыков для работы / The program is not intended for installation on mobile devices. This is a desktop software that requires: - installation on a PC; - special software for working with GIS formats; - the necessary access rights; - working in a Windows environment; - special knowledge and skills for working	Программа не предназначена для установки на мобильные устройства. Это десктопное программное обеспечение, которое требует: - установку на ПК; - наличие электронного ключа защиты (отдельное платное устройство); - работу в среде Windows; - специальных знаний и навыков для работы / The program is not intended for installation on mobile devices. This is a desktop software that requires: - installation on a PC; - an electronic protection key (a separate paid device); - operation in a Windows environment; - special knowledge and skills for operation

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
6	Целевая аудитория / Target audience	Специализированные проектные организации / Specialized project organizations	Экологические службы, промышленные предприятия, проектные организации / Environmental services, industrial enterprises, and project organizations	Экологические службы, промышленные предприятия, проектные организации / Environmental services, industrial enterprises, and project organizations
7	Стоимость (в ценах октябрь 2025 года) / Cost (in prices of October 2025)	16 500 рублей / 16 500 rubles	40 000 рублей / 40 000 rubles	12 400 рублей / 12 400 rubles
8	Техническая поддержка / Technical support	Онлайн-поддержка, обучающие материалы / Online support, training materials	Техническая поддержка по договору, регулярные обновления / Technical support under a contract, regular updates	Комплексная поддержка, обучение персонала / Comprehensive support, staff training

Изучение наиболее популярных существующих на рынке цифровых решений и выявление их ключевых недостатков [14, 18, 19], позволило определить необходимость разработки цифрового продукта, который позволит решить выявленные проблемы. Программа должна являться логическим предложением эволюции цифровых решений в сфере сельского хозяйства и экологии, учитывающим все накопленные знания и опыт, а также современные тенденции развития технологий. Пользователи должны получить комплексное решение, свободное от недостатков существующих аналогов. Разработанный специализированный цифровой продукт должен представлять собой рабочий инструмент, позволяющий оперативно осуществлять расчет выбросов загрязняющих веществ на различных цифровых устройствах, в частности, непосредственно на мобильных устройствах (смартфонах), что значительно сокращает временные затраты и повышает производительность труда сотрудников.

На основе проведённых предварительных исследований, описанных в [20, 21], с учётом требований методических указаний «Рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов животноводства и птицеводства. СПб., 2015»[7], разработанных АО «НИИ Атмосфера», а также государственных стандартов и требований РД-АПК 1.10.02.04-12 и ГОСТ Р 1.5-2012, были разработаны модели определения количества и массы загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от источника, в качестве которого выступает единичный объект обращения с отходами и побочными продуктами животноводства [22, 23]. Полученные модели представляют расчётное ядро создаваемого программного продукта и ориентированы в текущей редакции на работы со свиным бесподстилочным навозом.

Результаты и обсуждение. Порядок создания приложения проходил стандартные этапы жизненного цикла программного продукта, адаптированные под специфику конкретной задачи.

Основой разработанного приложения является определение количества выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от навозохранилища свиноводческих предприятий. Расчет выбросов производится на основании вводимых пользователем данных с помощью заложенных моделей расчета.

Взаимодействие с продуктом осуществляется следующим образом. Пользователь через графический интерфейс вводит необходимые характеристики объекта негативного воздействия на окружающую среду (предприятия), источника загрязнения атмосферного воздуха (навозохранилища), источника выделения загрязняющих веществ (навоз) и метеорологические данные. Далее осуществляется обработка введённых данных согласно механистической модели расчёта выбросов посредствам встроенных в систему средств. На рисунке 1 представлен интерфейс ввода первичных данных.

[7] Рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от объектов животноводства и птицеводства. АО «НИИ Атмосфера» СПб., 2015 г.

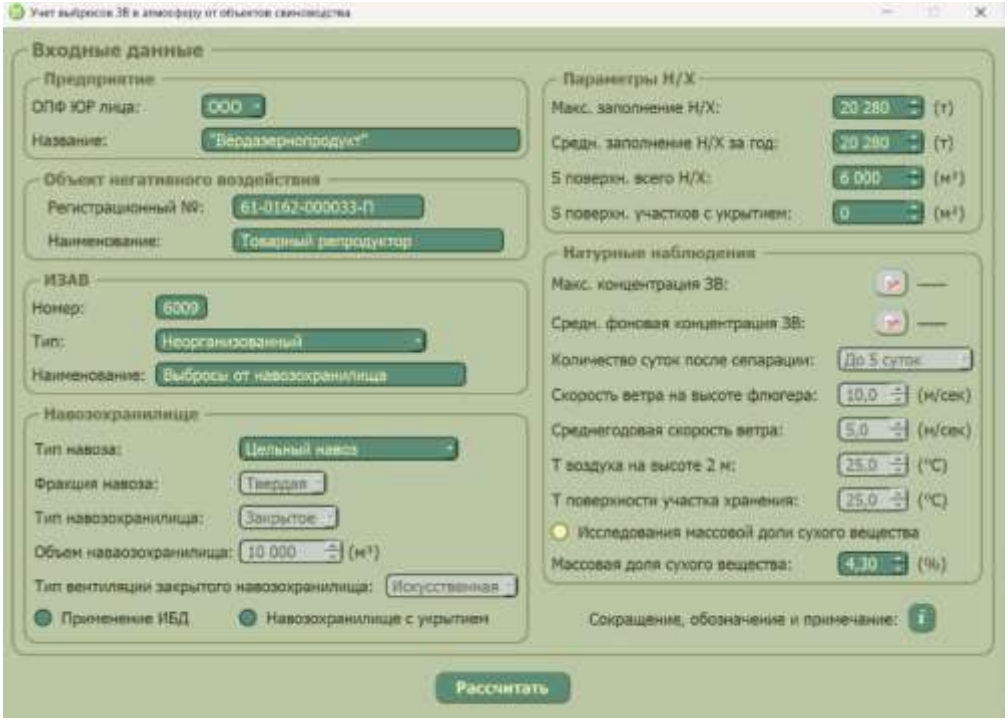
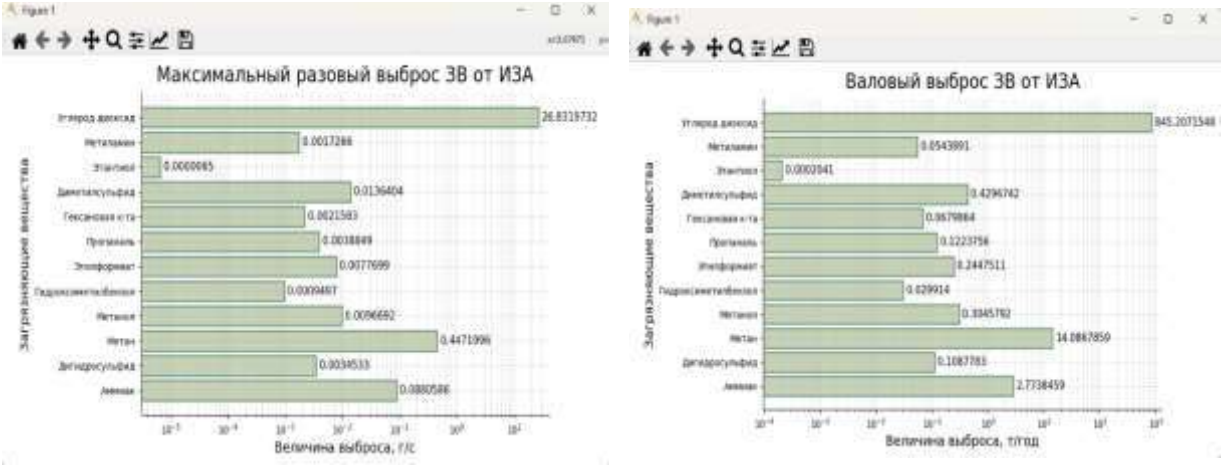


Рисунок 1 – Интерфейс ввода первичных данных
Figure 1 – Primary data input interface

После вычислений программа отображает итоговую оценку объемов выбросов загрязняющих веществ, выделяемых в атмосферный воздух от свиного навоза в процессе обращения с данным видом отхода или побочного продукта. Данные выводятся в виде таблицы, где по каждому веществу отдельно отображаются показатели в граммах за секунду (г/сек) и тоннах в год (т/год). Обрабатывая вводимую пользователем информацию, программа выдает результат в виде журнала и графического изображения, наглядно удобных для восприятия и дальнейшего пользования. Интерфейс вывода результатов расчёта представлен на рисунке 2. Графическое изображение результата вычислений максимального разового и валового выброса загрязняющих веществ представлены на рисунке 3 а и 3 б.

	Название ЗВ	Код	Выброс г/с	Выброс т/г
1	Аммиак	303	0.0880586	2.7738459
2	Дигидросульфид (Сероводород)	333	0.0034533	0.1087783
3	Метан	410	0.4471996	14.08678...
4	Метанол (Метиловый спирт)	1052	0.0096692	0.3045792
5	Гидроксиметилбензол	1069	0.0009497	0.029914
6	Этилформиат	1246	0.0077699	0.2447511
7	Пропаналь (Пропиональдегид)	1314	0.0038849	0.1223756
8	Гексановая кислота (Кислота капроновая)	1531	0.0021583	0.0679864
9	Диметилсульфид	1707	0.0136404	0.4296742
10	Этантиол (Этилмеркаптан)	1728	0.0000065	0.0002041
11	Метиламин (Монометиламин)	1849	0.0017266	0.0543891
12	Углерод диоксид	—	26.83197...	845.2071...

Рисунок 2 – Интерфейс вывода результатов расчёта
Figure 2 – Interface for displaying calculation results



а) результаты вычислений максимального разового выброса загрязняющих веществ / a) calculation results of the maximum single emission of pollutants

б) результаты вычислений валового выброса загрязняющих веществ / b) results of calculations of gross emissions of pollutants

Рисунок 3 – Графическое представление результатов вычислений
Figure 3 – Graphical representation of calculation results

На рисунках 3 а) и 3 б) представлены результаты расчетов максимального разового и валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от навозохранилища в виде лагуны для ООО «Вёрдазернопродукт». Программа позволяет представлять данные в разных форматах, оформляя их в виде таблиц и графических изображений в форматах JSON и csv.

После создания минимально жизнеспособного продукта (MVP) приложение протестировали в реальных производственных условиях для проверки точности выдаваемых результатов. Тестирование прошло на партнерских предприятиях ФГБОУ ВО Рязанского агротехнологического университета имени П. А. Костычева: ООО «Вёрдазернопродукт» и КФХ Слободенко Елена Игоревна [18].

ООО «Вёрдазернопродукт» – ведущий региональный производитель свинины, племенное хозяйство в Сараевском районе Рязанской области (площадь 180 га). Поголовье свиней – 180 тыс. голов единовременного содержания; реализация – 340 445 голов и 40 909 т в год. Штат – 543 сотрудника. Тестирование проводил эколог предприятия (38 лет, высшее профессиональное образование) [18].

КФХ Слободенко Елена Игоревна расположено в п. Ухолово Ухоловского района Рязанской области. Хозяйство специализируется на растениеводстве и животноводстве (свиноводство). Цифровой инструмент проверял инженер по производственному экологическому контролю (33 года, высшее инженерное образование).

На основе исследований [18-20] в качестве показателя эффективности приняли время, затрачиваемое на выполнение операций. Данный показатель позволяет количественно оценить упрощение расчетов по сравнению с ручным методом. Сравнение велось по времени на поиск данных, расчеты и оформление результатов в двух вариантах: вручную и с приложением. Замеры проводили на тестовых данных о животноводческих объектах, источниках загрязнений, объемах и характеристиках отходов (свиной навоз). По результатам предварительных интервью предположили сокращение времени на 80 % (например, с 1 часа вручную до 5-10 мин. с приложением) [18].

Обобщив выводы из проведённых проблемных интервью с представителями хозяйств и опираясь на теорию потенциальной эффективности технических средств[8, 9], определили компоненты критерия эффективности. Критерий – время на операции – выразили формулой для количественной оценки преимуществ микросервиса над ручным подходом [18]:

[8] Флейшман Б. С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. М.: Изд-во «Советское радио», 1971. 224 с.
[9] Лимаренко Н. В. Повышение эффективности обеззараживания бесподстилочного навоза: дисс. д-ра техн. наук, 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / РГАТУ им. П. А. Костычева, 2022. 397 с.

$$E_{\text{ош}} = v_{\text{оп}} \cdot \left(\frac{N_{\text{ручное}} - N_{\text{авт}}}{N_{\text{ручное}}}\right) + c \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{k} S_i}{k}\right), \quad (1)$$

где $v_{\text{оп}}$ – количество ошибок при выполнении расчетов, шт.; $N_{\text{ручное}}$ – количество ошибок при ручном выполнении операции; $N_{\text{авт}}$ – количество ошибок при использовании программного продукта; S_i – оценка интуитивности интерфейса от *i*-го пользователя; *k* – количество пользователей, участвующих в тестировании.

Более подробно методика расчёта представлена в работах [7, 18, 20]. На рисунках 4-6 визуализированы результаты проведенного тестирования предлагаемого программного продукта в производственных условиях хозяйств Рязанской области: ООО «Вёрдазернопродукт» и КФХ Слободенко Е. И. Анализ результатов пилотного тестирования, представленных на рисунках 4-6 на базе индустриальных партнёров ООО «Вёрдазернопродукт» и КФХ Слободенко Елена Игоревна подтвердил достоверность и эффективность предложенного ПО [18]. Применение программного продукта значительно сокращает время выполнения операции: на 82 % в КФХ Слободенко Е. И. и на 87 % в ООО «Вёрдазернопродукт», подтверждая эффективность автоматизации и оптимизации процессов. Снижение ошибок также высоко: 85 % (ООО «Вёрдазернопродукт») и 83 % (КФХ Слободенко Е. И.), что указывает на надежность алгоритмов и уменьшение влияния человеческого фактора. Интуитивность интерфейса по 10-балльной шкале получила максимум (10/10) от сотрудников обоих предприятий, свидетельствуя о продуманности графического интерфейса и простоте освоения.

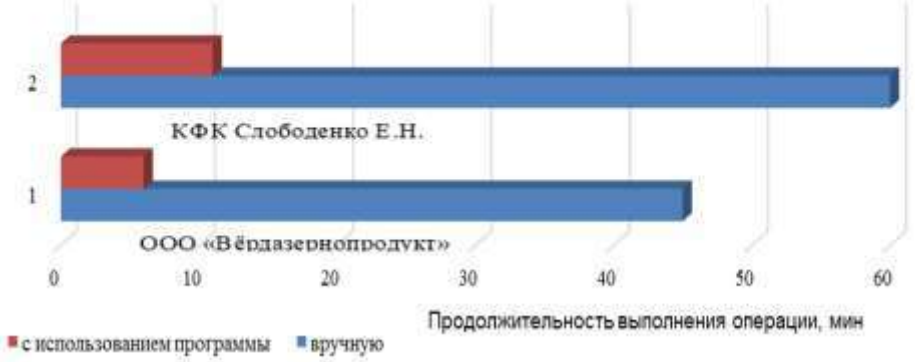


Рисунок 4 – Визуализация сокращения продолжительности выполнения операций по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с использованием программного продукта
Figure 4 – Visualization of the reduction in the duration of operations for calculating emissions of pollutants into the atmosphere using the software product

Рисунок 5 – Визуализация сокращения количества ошибок, связанных с учётом параметров при использовании программы
Figure 5 – Visualization of the reduction in the number of errors associated with parameter accounting when using the program

Рисунок 6 – Визуализация результатов оценки интуитивности интерфейса программы
Figure 6 – Visualization of the results of the evaluation of the intuitiveness of the program interface

Полученные данные позволяют сделать заключение об эффективном внедрении системы и её адаптивности к различным условиям работы. Разработанный цифровой инструмент реализует подход к оптимизации работы с животноводческими отходами, интегрируясь в стратегию цифровизации АПК. После первичного пилотного тестирования в рамках выбранных хозяйств, решение было доработано с учётом полученной обратной связи, а также зарегистрировано в качестве программного продукта, что подтверждается свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025691924, дата государственной регистрации 18.11.2025. В дальнейшем планируется оценить практическую ценность продукта, провести полевые испытания и доработать его возможности.

Заключение. Проанализированы преимущества и недостатки главных цифровых продуктов, представленных на рынке ПО позволяющие осуществлять расчет выбросов веществ от животноводческих предприятий, загрязняющих атмосферу.

1. Определены потребности пользователей к цифровым сервисам, архитектура и технологический стек реализации. Установлено, что достаточно перспективным является использование цифровых решений с локальной установкой.

2. Разработан цифровой инструмент автоматизации расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источника (Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025691924, дата гос. регистрации 18.11.2025), являющегося объектом процесса деятельности обращения с отходами животноводства.

3. Апробация ПО на двух предприятиях (ООО «Вёрдазернопродукт» и КФХ Слободенко Е. И.) подтвердила его высокую эффективность: время выполнения операций сократилось на 82-87 %, количество ошибок – на 83-85 %. Интерфейс получил максимальную оценку удобства (10/10), что свидетельствует о продуманном пользовательском опыте и успешной адаптации системы.

Conclusions. The advantages and disadvantages of the main digital products available on the market for calculating air pollutant emissions from livestock enterprises were analyzed.

1. User requirements for digital services were studied. The most in demand type of modern software product was identified.

2. A digital tool was developed to automate the calculation of air pollutant emissions from sources involved in livestock waste management.

3. Software testing conducted at two enterprises (Verdazernoprodukt LLC and E.I. Slobodenko's privet farm) confirmed its high efficiency: processing time was reduced by 82-87 %, and the number of errors by 83-85 %. The interface received the highest user-ability rating (10/10), indicating a well-designed user experience and successful system adaptation.

Библиографический список

1. Шкарупа Е. А. Цифровизация АПК: результаты, проблемы, направления развития. Региональная экономика. Юг России. 2020. Т. 8. № 4. С. 144-153.

2. Пешкова Г. Ю., Фёдоров К. Ф. Актуальные тенденции и проблемы цифровизации АПК. Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 4-4 (118). С. 150-153.

3. Смирнова В. В. Цифровые технологии в свиноводстве России. Аграрный вестник Урала. 2022. № 08 (223). С. 91-100.

4. Мулярец С. А. Специфика и проблемы цифровой трансформации предприятий российского агропромышленного комплекса. Инновации и инвестиции. 2021. № 4. С. 315-320.

5. Цой Л. М., Рассказов А. Н. Свиноводство. Перспективы цифрового развития. Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 3 (39). С. 51-56.

6. Чепурина Е. Л., Чепурин А. В., Кушнарева Д. Л. Технический сервис машин и оборудования животноводства: состояние и перспективы его организации. Агроинженерия. 2024. Т. 26. № 6. С. 49-50.

7. Шемякин А. В., Лимаренко Н. В., Успенский И. А. и др. Концептуальные основы повышения эффективности обеззараживания свиного бесподстилочного навоза цифровыми решениями. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 373-380.

8. Брюханов А. Ю. и др. Цифровой инструмент для определения выбросов метана от систем сбора и хранения навоза. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 6 (78). С. 303-311.

9. Морозов Н. М. Цифровые автоматизированные технологии в животноводстве – основа модернизации отрасли. Техника и технологии в животноводстве. 2018. № 2 (30). С. 61-69.

10. Васильев Н. П. и др. Формирование единой цифровой платформы сельского хозяйства региона. Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 1. С. 53-56.

11. Заславская Н. М. Пределы цифровизации государственного экологического управления. Правовое государство: теория и практика. 2024. № 4 (78). С. 44-54.

12. Брюханов А. Ю. и др. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем. АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4 (113). С. 4-18.

13. Брюханов А. Ю. и др. Инструмент для мониторинга экологического состояния и устойчивого развития сельскохозяйственного производства. Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 1 (49). С. 78-84.

14. Лобачевский Я. П., Шемякин А. В., Лимаренко Н. В. и др. SWOT-анализ цифровых платформ повышения эффективности обращения с отходами агропромышленного комплекса. Техника и оборудование для села. 2024. № 8 (326). С. 2-10.

15. Сибирёв А. С., Зазимко В. Л., Додов Р. Х. Цифровая трансформация и цифровые платформы в сельском хозяйстве. Вестник НГИЭИ. 2020. № 12 (115). С. 96-108.

16. Тахумова О. В., Портнова А. И., Поздняк П. А. Современные тенденции распространения цифровизации в сельском хозяйстве. Вестник Академии знаний. 2025. № 1 (66). С. 494-497.

17. Алихаджиева А. С. Перспективы использования цифровых технологий в сфере охраны окружающей среды. Правовая культура. 2022. № 2. С. 52-57.

18. Лимаренко Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Баринова Е. В. Оценка эффективности цифрового микросервиса ведения журнала обращения с отходами и побочными продуктами животноводческих предприятий. Техника и оборудование для села. 2025. № 6 (336). С. 2-7.

19. Корабошев О. З. Цифровые технологии в сельском хозяйстве. Вестник науки и образования. 2021. № 11-2 (114). С. 65-68.

20. Лимаренко Н. В., Шемякин А. В., Успенский И. А. и др. Цифровые инструменты повышения эффективности экспериментальных исследований энергоёмкости обеззараживания свиного бесподстилочного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука. Техника и оборудование для села. 2024. № 6 (324). С. 23-28.

21. Линьков Ю. В., Моторин О. А., Парфентьев М. В. Подходы к классификации цифровых сервисов для АПК и развитие интегрированных решений с учетом геосервисов. Управление рисками в АПК. 2021. № 1. С. 82-91.

22. Яблокова А. А. и др. Цифровые решения для автоматизации процессов управления животноводческими хозяйствами. Информатика. Экономика. Управление/Informatics. Economics. Management. 2024. Т. 3. № 2. С. 0301-0316.

23. Ahmann J. et al. Agricultural assistance systems for decision support in livestock farming. 2024.

References

1. Shkarupa E. A. Digitalization of the agro-industrial complex: results, problems, and development directions. Regional Economy. South of Russia. 2020. V. 8. No 4. Pp. 144-153.

2. Peshkova G. Yu., Fedorov K. F. Current trends and problems of digitalization of the agro-industrial complex. International research journal. 2022. No 4-4 (118). Pp. 150-153.

3. Smirnova V. V. Digital technologies in pig farming in Russia. Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No 08 (223). Pp. 91-100.

4. Mulyarets S. A. Specifics and problems of digital transformation of enterprises of the Russian agro-industrial complex. Innovations and Investments. 2021. No 4. Pp. 315-320.

5. Tsoi L. M., Rasskazov A. N. Pig Breeding. Prospects for Digital Development. Equipment and Technologies in Animal Husbandry. 2020. No 3 (39). Pp. 51-56.

6. Chepurina E. L., Chepurin A. V., Kushnareva D. L. Technical Service of Livestock Machinery and Equipment: Status and Prospects of Its Organization. Agroengineering. 2024. V. 26. No 6. Pp. 49-50.

7. Shemyakin A. V., Limarenko N. V., Uspensky I. A. et al. Conceptual Foundations for Improving the Efficiency of Pig Litterless Manure Disinfection Using Digital Solutions. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 4 (76). Pp. 373-380.

8. Bryukhanov A. Yu. et al. Digital tool for determining methane emissions from manure collection and storage systems. News of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 6 (78). Pp. 303-311.

9. Morozov N. M. Digital automated technologies in animal husbandry – the basis for industry modernization. Equipment and technologies in animal husbandry. 2018. No 2 (30). Pp. 61-69.

10. Vasiliev N. P. et al. Formation of a unified digital platform for regional agriculture. International Agricultural Journal. 2024. No 1. Pp. 53-56.

11. Zaslavskaya N. M. Limits of Digitalization of State Environmental Management. The Rule of Law: Theory and Practice. 2024. No 4 (78). Pp. 44-54.

12. Bryukhanov A. Yu. et al. The Concept of Managing the Environmental Safety of Agroecosystems. AgroEcoEngineering. 2022. No 4 (113). Pp. 4-18.

13. Bryukhanov A. Yu. et al. A Tool for Monitoring the Environmental Status and Sustainable Development of Agricultural Production. Equipment and Technologies in Animal Husbandry. 2023. No 1 (49). Pp. 78-84.

14. Lobachevsky Ya. P., Shemyakin A. V., Limarenko N. V. et al. SWOT analysis of digital platforms for improving the efficiency of waste management in the agro-industrial complex. Machinery and equipment for the village. 2024. No 8 (326). Pp. 2-10.

15. Sibiryaev A. S., Zazimko V. L., Dodov R. Kh. Digital transformation and digital platforms in agriculture. NGIEI Bulletin. 2020. No 12 (115). Pp. 96-108.

16. Takhumova O. V., Portnova A. I., Pozdnyak P. A. Modern trends in the spread of digitalization in agriculture. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2025. No 1 (66). Pp. 494-497.

17. Alikhadzhieva A. S. Prospects for the use of digital technologies in the field of environmental protection. Law culture. 2022. No 2. Pp. 52-57.
18. Limarenko N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Barinova E. V. Evaluating the Efficiency of a Digital Microservice for Maintaining a Waste and By-Product Management Log for Livestock Enterprises. Machinery and Equipment for Rural Areas. 2025. No 6 (336). Pp. 2-7.
19. Koraboshev O. Z. Digital Technologies in Agriculture. Bulletin of Science and Education. 2021. No 11-2 (114). Pp. 65-68.
20. Limarenko N. V., Shemyakin A. V., Uspensky I. A. et al. Digital Tools for Improving the Efficiency of Experimental Studies of the Energy Intensity of Disinfection of Pig without bedding Manure with Mechanical Oscillations at Ultrasonic Frequency. Machinery and equipment for the village. 2024. No 6 (324). Pp. 23-28.
21. Linkov Yu. V., Motorin O. A., Parfentiev M. V. Approaches to the classification of digital services for the agro-industrial complex and the development of integrated solutions taking into account geo services. Risk Management in the Agro-Industrial Complex. 2021. No 1. Pp. 82-91.
22. Yablokova A. A. et al. Digital solutions for automation of livestock farm management processes. Informatics. Economics. Management. 2024. V. 3. No 2. Pp. 0301-0316.
23. Ahmann J. et al. Agricultural assistance systems for decision support in livestock farming. 2024.

Информация об авторах

Лимаренко Николай Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры, Донской государственный технический университет (Российская Федерация, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1); профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Успенский Иван Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, РФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Бышов Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Баринова Елена Владимировна, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: barinelena@yandex.ru

Кондратьев Леонид Николаевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (Российская Федерация, 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: kondratyev.omsk14@list.ru

Authors' Information

Limarenko Nikolay Vladimirovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Don State Technical University (Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), Professor of the Department, Ryazan Agricultural and Technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan Region, Ryazan, Kostycheva Street, 1), e-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan Agricultural and Technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan Region, Ryazan, Kostycheva Street, 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Ryazan Agricultural and Technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan Region, Ryazan, Kostycheva Street, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan Agricultural and Technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan Region, Ryazan, Kostycheva Street, 1), e-mail: university@rgatu.ru

Barinova Elena Vladimirovna, graduate student, Ryazan Agricultural and Technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan Region, Ryazan, Kostycheva Street, 1), e-mail: barinelena@yandex.ru

Kondratyev Leonid Nikolaevich, postgraduate student, Ryazan Agricultural and Technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan Region, Ryazan, Kostycheva Street, 1), e-mail: kondratyev.omsk14@list.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-59

THE AFFECTING TIRE RESOURCE FACTORS ANALYSIS

[1]Murog I. A., [2]Uspensky I. A., [2]Yukhin I. A., [2]Byshov D. N., [2]Astakhov P. A.

[1]The Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation
Moscow, Russian Federation
[2]Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev
Ryazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: kutyraev@bk.ru

Received 24.04.2026 Submitted 26.05.2026

Abstract

Introduction. The article considers the factors influencing the life of tires for transport and transport-technological machines. An urgent task in maintaining the performance of cars is the analysis of factors affecting the resource of tires for mobile equipment. Tires are one of the dimensional types of operational materials. Their storage before installation on machinery and storage before disposal requires close atten-

tion, as this process requires compliance with special conditions and compliance with regulatory and legislative acts. **Object.** The object of the study is the tire wear process of transport and transportation-technological machines. **Materials and methods.** For experimental verification of tire wear, the method of statistical research in the conditions of ATP operation and data from diagnostic checks of cars during maintenance and repair were used. **Results and conclusions.** Knowing the resource of tires, you can plan their stocks, as well as plan their disposal after the resource is depleted in order to meet storage standards, before being disposed of in appropriate organizations.

***Keywords*:** *car tires, tire wear, logistics systems, and tire operation.*

Citation. Murog I. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N., Astakhov P. A. The affecting tire resource factors analysis. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 531-543 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-59.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 629.3.027.5+656.13

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА РЕСУРС ШИН

[1]**Мурог И. А.,** *доктор технических наук, профессор, сенатор*
[2]**Успенский И. А.,** *доктор технических наук, профессор*
[2]**Юхин И. А.,** *доктор технических наук, профессор*
[2]**Бышов Д. Н.,** *доктор технических наук, доцент*
[2]**Астахов П. А.**

[1]*Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации*
г. Москва, Российская Федерация
[2]*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева*
г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. В статье рассмотрены факторы влияния на ресурс шин для транспортных и транспортно-технологических машин. Актуальной задачей в деле поддержания работоспособности автомобилей является анализ факторов, влияющих на ресурс шин для мобильной техники. Шины являются одним из габаритных видов эксплуатационных материалов. Их хранение до установки на технику и перед утилизацией требует достаточно пристального внимания, так как этот процесс связан с соблюдением специальных условий и соответствия нормативным и законодательным актам. **Объект.** Объектом исследования является процесс износа шин транспортных и транспортно-технологических машин. **Материалы и методы.** Для экспериментальной проверки износа шин был использован метод статистического исследования в условиях работы АТП и данные диагностических проверок автомобилей в процессе проведения ТО и ТР. **Результаты и выводы.** Зная ресурс шин можно планировать их складские запасы, а также прогнозировать их выбытие после выработки ресурса с целью выполнения норм хранения, до сдачи в утилизацию в соответствующие организации.

Ключевые слова: *шины автомобильные, износ шин, системы материально-технического снабжения, эксплуатация шин.*

Цитирование. Мурог И. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Астахов П. А. Анализ факторов влияния на ресурс шин. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 531-543. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-59.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Отработанные покрышки и камеры из эластомерных полимеров в естественных экосистемах подвергаются крайне медленной биоабразии и фотодеструкции. При контакте с атмосферными осадками и фильтрационными грунтовыми водами формируются элюаты, выносящие токсичные органические молекулы их исходной рецептуры. Согласно экспертным данным, при термической утилизации одной тонны такого отхода в воздушную среду выбрасывается примерно 270 кг сажи и порядка 450 кг высокотоксичных газов. В их перечень входят бенз(а)пирен, диоксины, фураны, полиароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы, а также тяжёлые металлы – мышьяк, хром, кадмий и прочие компоненты I-II классов опасности. Эти контаминанты через воздух, почву и гидросферу мигрируют в трофические цепи, деградируя качество среды и обуславливая токсикологическое давление на биоразнообразие. Следовательно, рациональный рециклинг шинных отходов остаётся важнейшей задачей экологической безопасности.

Временное размещение отходов, образованных из выработавших ресурс автопокрышек и камер, до момента их передачи лицензированной организации – оператора по обращению, включающему сбор, транспортирование, переработку, утилизацию, обезвреживание и захоронение, квалифицируется как «накопление отходов» по Закону № 89-ФЗ; предельный период такого накопления составляет 11 месяцев.

Отработавшие пневматические шины и их камеры, до передачи специализированной организации, имеющей лицензию на сбор, транспортирование, обработку, утилизацию, обезвреживание либо размещение отходов, подлежат временному хранению на оборудованной площадке накопления. Участок должен обладать твердым герметичным покрытием, например железобетонным, и навесом, предотвращающим инсоляцию, атмосферные осадки и попадание сторонних предметов. Площадка вместе с кровлей оснащается ограждением, блокирующим прямое солнечное излучение. В период накопления соблюдают нормы пожарной безопасности, предусматривают доступ грузоподъёмной техники для осуществления погрузочно-разгрузочных операций и инвентаризации отходов.

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 54095-2010 устанавливает требования к утилизации отработавших шин любого типа, включая покрышки любого типа, перерабатываемые во вторичные ресурсы, с обеспечением мер по защите окружающей среды.

Шины – важная часть ходовой части колесной техники, и их хранение требует соблюдения строгих стандартов и требований.

В процессе технической эксплуатации колесной техники при определении требований к условиям хранения шин всегда можно обращаться к национальному стандарту Российской Федерации: ГОСТ 54266-2010 «Шины пневматические. Упаковка, транспортирование, хранение», который, в основных своих аспектах, повторяет требования стандарта 1981 года. Стандарт устанавливает правила и нормы, регламентирующие упаковку, транспортирование и хранение пневматических шин (покрышек, камер и ободных лент) различного назначения.

Шины колесной техники при повседневной эксплуатации воспринимают экстремальные нагрузки вследствие значительной массы транспортируемых материалов, агрессивных дорожных условий большинства рабочих циклов и постоянного высокочастотного использования. Корректный подбор шин повышает ресурс подвесочных компонентов автомобиля, снижает коэффициент сопротивления качению, повышает безопасность дорожного трафика.

Материалы и методы. Правильно выбранные шины для колесной техники должны обеспечивать:

- Достаточную несущую способность. Автошины должны выдерживать суммарный вес (собственный и груза), дополнительные динамические нагрузки, возникающие при резких стартах, торможениях, поворотах.
- Эффективное сцепление с дорожным покрытием. Прогиб пневмошины обеспечивает значительное пятно контакта. Чем жестче резина, тем меньше площадь ее контакта с дорогой. Дизайн протектора должен обеспечивать сцепление с покрытием – сухим, мокрым, заснеженным.
- Управляемость. Эта важная характеристика определяет способность грузовой шины точно реагировать на команды, поступающие от рулевого колеса [11]. Управляемость активно влияет на безопасность дорожного движения.
- Минимальное сопротивление качению. Обеспечивает топливную экономичность. Этот показатель ухудшают неправильный выбор шины, несоответствующее давление, превышение допустимой нагрузки.
- Комфортность. Конструкция покрышки и материал, используемый при ее изготовлении, должны обеспечивать смягчение ударов при езде по неровным покрытиям и понижение уровня шума.
- Надежность. Этот параметр, прежде всего, зависит от прочности каркаса шины.
- Долговечность. Зависит от качества используемых материалов, соответствия модели и условий эксплуатации, соблюдения правил поездок.

В зависимости от размера и способа использования покрышки отличаются дизайном, конструкцией и массой. Значения массы различных видов покрышек приведены в таблице 1

Таблица 1 – Значения масс различных автомобильных покрышек легковых и грузовых автомобилей
Table 1 –Values of mass of various automobile tires for passenger cars and trucks

Тип автомобиля / Vehicle type	Масса шины, кг / Tire weight, kg	Количество шин на 1 т / Number of tires per 1 ton
Легковой пассажирский автомобиль / Passenger car	6,5-9	54-100
Легковой автомобиль общего назначения / General-purpose passenger car	11	91
Грузовой автомобиль / Truck	50	20
Автопоезд / Road train	55-80	12-18
Сельскохозяйственная машина / Agricultural machine	100	10

Для анализа долговечности ресурса шин мобильной техники группы компаний «Дамате» в городе Нижний Ломов проведено исследование степени износа шин. В ходе эксперимента были собраны оперативные данные о функционировании транспортных средств, задействованных в рамках техподдержки предприятия.

Исследование охватывает 180 автомобильных шин модели ИД-П284, монтированных на грузовик Урал-4320. Однако задние шины испытывают ускоренный износ из-за высокой нагрузки, характерной для этой модели автомобиля.

Транспортные средства этой компании используются в экстремальных условиях, связанных с обслуживанием отдаленных филиалов – вне пригородных районов (свыше 50 км от городских окраин):

- режим использования транспортных средств – категория III;
- условия эксплуатации – зона умеренного климата.

В процессе определения реального пробега шин применили корректирующие множители из таблиц 2 и 3.

Таблица 2 – Поправочные коэффициенты (k_1) в зависимости от категорий эксплуатации автотранспортных средств
Table 2 – Correction factors (k_1) depending on the categories of operation of motor vehicles

Категория условий эксплуатации / Category of operating conditions	k_1
I	1,0
II	1,0
III	0,95
IV	0,90
V	0,90

Таблица 3 – Поправочные коэффициенты (k_2) в зависимости от условий работы автотранспортных средств
Table 3 – Correction factors (k_2) depending on the operating conditions of vehicles

Условия работы автотранспортных средств / Conditions of operation of motor vehicles	k_2*
Постоянная работа в каменных карьерах / Constant work in stone quarries	0,85
Постоянная работа на разработках угля и руды при добыче открытым способом, а также вывозе металлолома и стеклобоя / Constant work in coal and ore mining by open-pit mining, as well as in the removal of scrap metal and broken glass	0,85
Постоянная работа на загрузке из бункеров или экскаватором, а также на лесоразработках, на стройках, на строительстве и ремонте дорог / Constant work in loading from hoppers or with an excavator, as well as in logging, construction, and road construction and repair	0,85
Работа на вывозке нефтепродуктов и химикатов в условиях, разрушающих автомобильные шины / Work in the removal of petroleum products and chemicals in conditions that destroy car tires	0,85
Постоянная работа с прицепами, полуприцепами / Constant work with trailers and semi-trailers	0,90
Постоянная работа автобусов в условиях международных и междугородних перевозок / Constant operation of buses in international and intercity transportation	0,90
Работа скорой и неотложной медицинской помощи / Ambulance and emergency medical services	0,90
Работа в условиях частых технологических остановок, связанных с погрузкой и выгрузкой, посадкой и высадкой пассажиров / Frequent technological stops related to loading and unloading, boarding and disembarking passengers	0,95
Почасовая работа при обслуживании предприятий / Hourly work in servicing enterprises	1.10

<* >*Примечание:* для других условий работы автотранспортных средств k_2=1.
<*> Note: for other vehicle operating conditions, k_2=1.

Результаты и обсуждение. Норма скорректированного эксплуатационного пробега шины ($L_н^{ск}$) получается путем умножения среднестатистического пробега шины на поправочные коэффициенты:

$$L_н^{ск} = L_н \cdot k_1 \cdot k_2, \text{ км} \quad (1)$$

где $L_н$ – среднестатистический пробег шины, тыс. км; k_1 – поправочный коэффициент, учитывающий категорию условий эксплуатации автотранспортного средства (таблица 1, 2); k_2 – поправочный коэффициент, учитывающий условия работы автотранспортного средства (таблица 1, 3).

$$L_н^{ск} = 60000 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}85 = 48450, \text{ км}$$

При этом норма эксплуатационного пробега шины не должна быть ниже 25 % от среднестатистического (фактического) пробега шины.

Определим нормативную интенсивность износа протектора шин Δ при норме скорректированного эксплуатационного пробега шины $L_н^{ск}$ = 48450 км по формуле:

$$\Delta = \frac{H}{L_н^{ск}}, \text{ мм/1000 км} \quad (2)$$

где H – рабочая высота протектора шины; $L_н^{ск}$ – скорректированный эксплуатационный пробег шины, тыс. км.

$$\Delta = \frac{19}{48450} = 0{,}392, \text{ мм/1000 км}$$

Определим фактическую интенсивность износа протектора шин Δ при фактическом эксплуатационном пробеге шин $L_ш^э$ по формуле:

$$\Delta = \frac{H}{L_ш^э}, \text{ мм/1000 км} \quad (3)$$

где H – рабочая высота протектора шины; $L_ш^э$ – фактический пробег шины, тыс. км.

$$\Delta = \frac{19}{47500} = 0{,}4, \text{ мм/1000 км}$$

Величина изношенного протектора измерялась по фактическому пробегу шин. Полученные данные использовались для дальнейшего расчета интенсивности износа протектора автомобильных шин.

Для удобства выполнения расчетов исходные данные сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Данные по исследуемым автомобильным шинам марки ИД-П284, установленных на автомобиль марки Урал-4320

Table 4 – Data on the studied automobile tires of the ID-P284 brand installed on the Ural-4320 vehicle

	Наименование АТС / Name of the vehicle	Распределение нагрузки по осям АТС / Distribution of the vehicle's load on the axles		Пробег АШ установленной на АТС, км / Mileage of the tires installed on the vehicle, km	Интенсивность износа, мм/1000 км / Wear intensity, mm/1000 km		Ресурс АШ, км / Tire resource, km	
		перед. ось / front axle	зад. тел / rear axle		факт. / in fact	норм. / standard	треб. / requirement	факт. / in fact
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Автомобильный кран КС-45717-1 / KS-45717-1 truck crane								
1	М631РА	6050 кг = 3025 кг *2	16160 кг = 4040 кг *4	14482	0,41	0,392	48450	46341
2	Р170СА			17996	0,44	0,392	48450	43181
3	Р557НО			14000	0,43	0,392	48450	44186
4	М650РА			16890	0,41	0,392	48450	46341
5	Н804РР			14750	0,41	0,392	48450	46341
6	Н805РР			15128	0,40	0,392	48450	47500
7	Н066ТЕ			12304	0,41	0,392	48450	46341
8	О900КВ			12500	0,40	0,392	48450	47500
9	М819ОС			6207	0,48	0,392	48450	39583
10	Н065ТЕ			14587	0,41	0,392	48450	46341
11	М630РА			15860	0,44	0,392	48450	43181
12	М629РА			17321	0,46	0,392	48450	41304
13	М632РА			16001	0,44	0,392	48450	43181

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Автоцистерна нефтеналивная АЦН-10С / ACN-10S oil tank truck								
14	Р061МХ	5300 кг = 2650 кг*2	16000 кг = 4000кг *4	21000	0,43	0,392	48450	44186
15	Р052МХ			21120	0,43	0,392	48450	44186
16	Р058МХ			22500	0,44	0,392	48450	43181
17	Р598АУ			13262	0,52	0,392	48450	36538
18	Р597АУ			18100	0,44	0,392	48450	43181
19	Р472АУ			17218	0,41	0,392	48450	46341
20	Р775НО			19300	0,41	0,392	48450	46341
Паропередвижная установка автомобильная ППУА-1600/100 / Automotive Steam Mobile Unit ППУА-1600/100								
21	М281УЕ	5300 кг = 2650кг *2	12000 кг =3000 кг *4	20000	0,45	0,392	48450	42222
22	Р084МХ			21172	0,42	0,392	48450	45238
23	К623МТ			19363	0,41	0,392	48450	46341
24	Н261КО			15600	0,45	0,392	48450	42222
25	Р517АК			16000	0,44	0,392	48450	43181
26	Н773АВ			15450	0,45	0,392	48450	42222
Плетевозы, трубовозы / Wire carriers, pipe carriers								
27	Р029НМ	5485 кг= 2743 кг* 2	15815 кг= 3954кг *4	24000	0,42	0,392	48450	45238
28	Р634МА			15345	0,39	0,392	48450	48718
29	Р801МА			10070	0,40	0,392	48450	47500
30	Р970МА			23181	0,43	0,392	48450	44186

Полученные значения ресурсов автомобильных шин представляют собой массив случайных величин, которые необходимо проанализировать с точки зрения определения их характеристик.

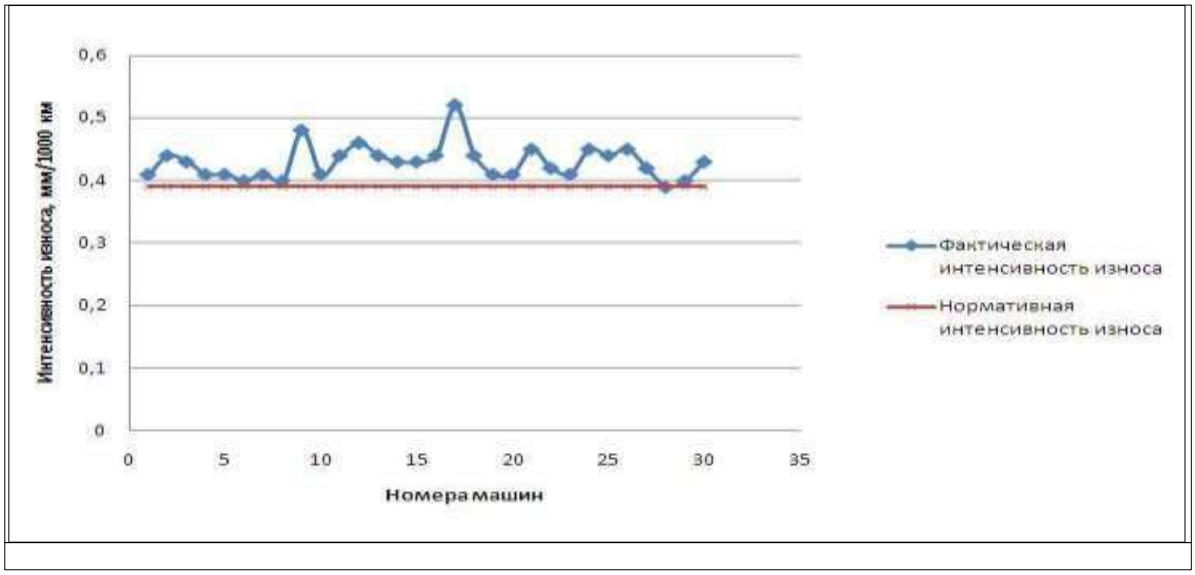


Рисунок 1 – График интенсивности износа исследуемых автомобильных шин марки ИД-П284
Figure 1 – Graph of wear intensity of the studied ID-P284 brand automobile tires

Проанализируем механизм износа пневматической шины модели ИД-П284, эксплуатируемой в автотранспортном предприятии за 2023 г. Обследуется выборка 120 единиц из общего парка 324 колес. Показатели деградации варьируют, описываясь случайными

величинами. При анализе эксплуатационной службы АШ предполагается, что их численность (λ=120) и наработка до ограничивающего состояния (μ, тыс. км) подчиняются статистическим законам распределения, таким как пуассоновская интенсивность отказов и экспоненциальное распределение ресурса межремонтного пробега деталей.

Поставлена статистическая задача: выполнить оценивание указанных параметров, выявить либо подтвердить характер их распределения вероятностей и вычислить соответствующие оценки – выборочную среднюю x̄, выборочную дисперсию Sx² и стандартное отклонение Sx.$\bar{x}S_x^2$.

В качестве исходных параметров расчёта использовалась численность автопарка, эксплуатируемого на автопредприятии по состоянию на 31.12.2023 г., представленная в таблице 4. Цель статистической обработки – оценить характеристики выборки и выявить закон распределения экспериментальных данных.

Таблица 5 – Данные о пробеге а/м, км
Table 5 – Vehicle mileage data, km

36538	39583	41304	42222	42222	42222	43181	43181	43181	43181
43181	43181	44186	44186	44186	44186	45238	45238	46341	46341
46341	46341	46341	46341	46341	46341	47500	47500	47500	48718

Обработка экспериментальных данных заключалась в их группировке, составлении интервального ряда распределения и определении выборочных характеристик.

Пусть ряд распределения, получаемый по исходной выборке, будет равноинтервальным. Тогда число групп в ряду распределения определяют по формуле Г. А. Стерджесса (4):

$$k=1+1,44\ln(30)=5,89 \quad (4)$$

Примем количество интервалов равным 6. Величину интервала *h* определяют по формуле:

$$h=\frac{48718-36538}{6}=2030$$

Таким образом, шаг интервала принимаем равным 2030.

Определим частоты m_i<(i = 1, 2, ...k) значений x_i, которые принимаются из таблицы 6, признака *X* для каждого интервала, равные числу членов совокупности, значения которых лежат в данном интервале. Подсчитаем также соответствующие каждому интервалу относительные частоты или частости по формуле $h=\frac{x_{max}-x_{min}}{k}$, на основе которой может быть построен многоугольник распределения. Все результаты расчетов сведены в расчетную таблицу 6.

Таблица 6 – Предварительная обработка экспериментальных данных
Table 6 – Preliminary processing of experimental data

Интервалы / Intervals		Середины / Middles x_i^*	Частоты / Frequencies m_i	Частости / Frequency, w_i	Накопленные частоты / Accumulated frequencies, m_i	Накопленные частости / Accumulated frequencies, W_i
x_i	x_{i+1}					
36538	38568	37553,00	1	0,033	1	0,033
38568	40598	39583,00	1	0,033	2	0,066
40598	42628	41613,00	4	0,133	6	0,199
42628	44658	43643,00	10	0,333	16	0,532
44658	46688	45673,00	10	0,333	26	0,865
46688	48718	47703,00	4	0,133	30	0,998
Σ			30	1,0000		

Для визуализации статистических выборочных распределений традиционно применяют графические отображения, включая полигон частот, гистограмму и кумулятивную кривую, представленные на рисунках 2-4.

Для графической интерпретации дискретного варианта распределения применяют частотный полигон. По оси абсцисс координатной системы откладывают отдельные категории переменной; каждому значению сопоставляют вертикальный сегмент, высота которого пропорциональна абсолютной частоте. Соединяя соседние столбцы отрезками, формируют ломаный график – полигон частот, отражающий вариабельность выборочных данных и позволяющий быстро оценить структуру распределения наблюдений и тренды.

Для графической интерпретации интервального статистического ряда распределения применяют гистограмму. При её построении на горизонтальной оси абсцисс фиксируют смежные интервалы варьируемой величины, а над каждым отрезком возводят прямоугольник, чья высота равна оценке частотной плотности, то есть отношению эмпирической частоты к ширине соответствующего класса. В результате образуется совокупность совмещённых столбцов, площадь каждого отражает относительную частоту интервала, а суммарная площадь графика строго нормирована к единице.

Гистограмма служит эмпирической выборочной оценкой плотности распределения одномерной непрерывной случайной величины.

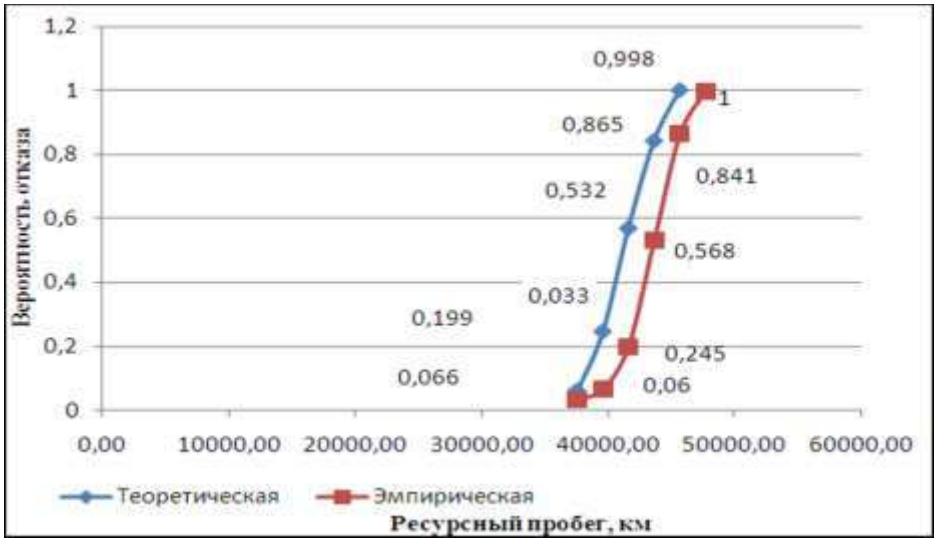


Рисунок 2 – Вероятность отказа при достижении ресурсного пробега
Figure 2 – Probability of failure upon reaching the service life

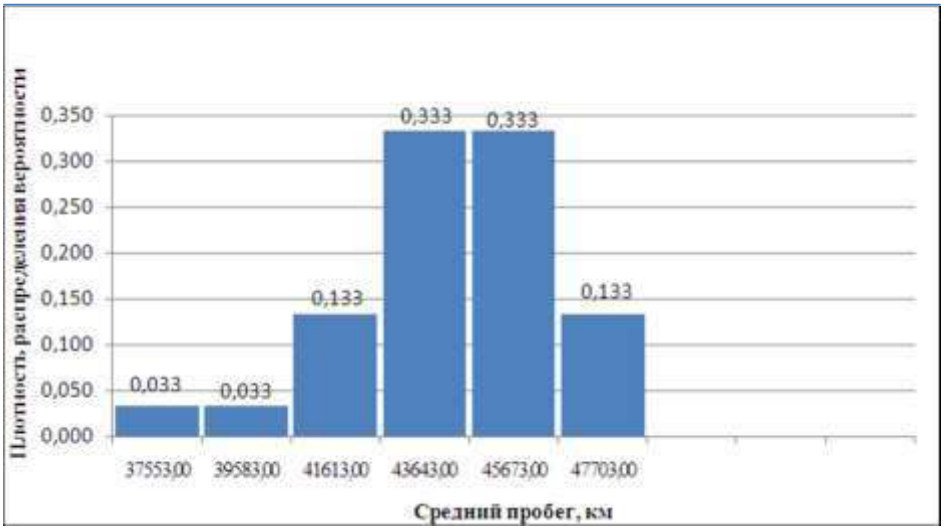


Рисунок 3 – Приближение графика плотности распределения вероятностей дискретной случайной величины ресурсов
Figure 3 – Approximation of the probability density distribution graph of a discrete random variable of resources

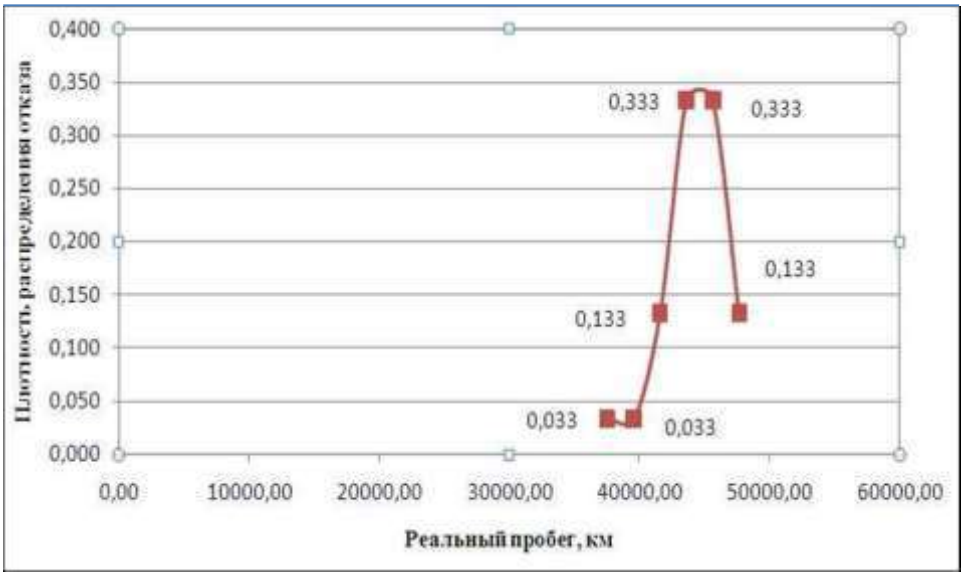


Рисунок 4 – Приближение графика функции плотности распределения отказа по достижению различных пробегов (ресурсов)
Figure 4 – Approximation of the graph of the failure distribution density function upon reaching various mileages (resources)

Для графической иллюстрации интервальных статистических рядов применяют кумулятивные кривые, называемые также кумулятами. Построение диаграммы стартует с нанесения на ось абсцисс правых границ класс-интервалов. Из каждой метки восстанавливают вертикаль, длина которой пропорциональна накопленной относительной либо абсолютной частоте распределения. Соединяя полученные ординаты отрезками, получают ломаную линию – кумуляту. Такая эмпирическая функция распределения облегчает интерпретацию данных, позволяет оценивать вероятности, медианы, квартильные характеристики, а также визуально проверять гипотезы.

При выборе оптимального давления воздуха в пневматиках анализируются деформационные свойства компаунда под пиком радиальной нагрузки, коэффициенты продольной и боковой жесткости, критичные для управляемости, тормозной и акселерационной динамики, тип и микрорельеф дорожного полотна, температурно-климатические условия, режим и цикличность эксплуатации автомобиля, равно как контроль износа протектора, а также его актуальное техническое состояние.

В процессе адаптации ходовой части к разнообразным дорожным режимам корректировка внутриконтурного давления в пневматических шинах является ключевым параметром. Так, на абразивных, кочковатых трассах умеренное снижение давления уменьшает динамические ударные нагрузки на обод и подвеску. При движении на повышенных скоростях по ровному асфальту увеличение давления минимизирует температурную экспансию протектора. Оба подхода продлевают ресурс шинного комплекта и улучшают коэффициент сцепления при торможении. Дополнительно регулирование давления учитывает метеофакторы, влияющие на сцепление и теплоотвод.

Таким образом, выявить детерминанты, ускоряющие абразивно-фрикционный износ автомобильных шин, реально. Они делятся на неконтролируемые, частично управляемые и полностью регулируемые, ключевые эксплуатационные, подробно отражённые на рисунке 5.

Детально проанализируем ключевые факторы ускоренного износа автомобильных покрышек: скоростные режимы, тепловой стресс протектора в движении, динамическую нагрузку транспортного средства и некорректное рабочее давление шин.

При динамичном, агрессивном режиме пилотирования транспортного средства, включающем мгновенный разгон, резкое торможение, высокоскоростные участки и крутые перестроения, возникает значительное повышение температуры шин. Возрастает термический гистерезис, снижается коэффициент сцепления в пятне контакта и ускоряется абразивный износ протектора. Ключевыми причинами деградации выступают тормозные и тяго-

вые нагрузки, передаваемые на обод. Даже на малых скоростях (10-15 км/ч) при частых циклах разгона и замедления интенсивность износа возрастает в два-три раза. Неравномерное движение с частыми спуртами, жёсткими тормозами либо агрессивное прохождение дуг может увеличить износ шины в сто и более раз. При увеличении скорости с 30 до 80 км/ч абразивность растёт более чем втрое. Скользящее смещение усиливается в виражах из-за боковых инерционных сил при заносе, формируя дополнительную нагрузку на покрышки и элементы подвески.

Рисунок 5 – Причины, определяющие повышенный износ автомобильных шин
Figure 5 – Causes of increased wear of car tires

При продолжительной езде на высоких скоростях происходит тепловое расширение воздуха в полостях шин, что повышает манометрическое давление и способно вывести его за предельные регламентные значения. В подобной ситуации нежелательно корректировать давление стравливанием, поскольку избыточное давление усиливает напряжение в каркасе и брекерном пакете, ускоряя рост рабочей температуры, особенно в зоне боковин, и изменяет распределение удельного давления в пятне контакта с полотном дороги. Увеличение осевой нагрузки до 80 % сокращает ресурс покрышек втрое, тогда как снижение на 30 % практически удваивает их пробег и долговечность конструкции.

Разберёмся, каким образом температурный фактор влияет на пневматические автомобильные шины. При эксплуатационном цикле движения транспортного средства покрышки непрерывно раскатываются и прерывают вращение. Во вращающейся фазе оболочка нагревается вследствие гистерезисных потерь во внутренних слоях резинового компаунда и микроскольжения рисунка протектора по асфальтовому полотну. Указанные потери преобразуют механическую работу в тепловую энергию, повышая температуру корда и ускоряя абразивный износ. При остановке покрышка стремится термически уравновеситься с атмосферой. Факторами, усиливающими прогрев, становятся динамичные ускорения, агрессивные торможения, крутые манёвры, вибрационная езда по дефектным покрытиям. Дополнительно радиационный теплопоток от раскалённых тормозных дисков [12], либо барабанов, особенно на затяжных спусках, существенен. Критические режимы, например превышение расчётной нагрузки или недостаточное давление, увеличивают термонапряжённость. Хотя явление выражено при спортивной эксплуатации, оно проявляется и в штатной службе, ведь периодическое деформирование нейлонового каркаса и беговой дорожки в зоне контакта колеса с дорогой и последующее упругое восстановление формы неминуемо сопровождается выделением тепла, оказывающего влияние на долговечность, безопасность, давление воздуха и топливную эффективность [8, 9].

Тепловая мощность, генерируемая в определённой точке шины за единицу времени, зависит от типа трения, степени деформации и скорости этой деформации. Трение определяется характеристиками используемых материалов и степенью нагрузки на составляющие шины. Элементы, подвергающиеся большим нагрузкам и деформациям, в процессе функционирования генерируют больше тепла.

С началом движения колеса происходит выделение тепловой энергии, которая в первую очередь приводит к увеличению температуры шины. Это тепло частично передается атмосфере. Вызванное трением увеличение теплоты в шинах с течением времени усугубляет теплоотдачу во внешнюю среду, сопровождаясь также изменениями температурного градиента внутри самой шины, что изменяет распределение тепла в разных участках ее профиля.

Температурный режим в различных участках автомобильной шины регулируется через равновесие между генерацией тепловой энергии в этих точках и её рассеиванием. В процессе эксплуатации шины температура изменяется по её поверхности. Диаграммы показывают, что увеличение скоростного режима коррелирует с ростом температуры шины. При максимальных скоростях наблюдается пик температурных значений. Температура тогда фиксируется с помощью термопар с игольчатым датчиком, использованием термисторов и применением инфракрасных тепловизоров.

Эксперимент проводился в реальных условиях при стабилизированном стартовом давлении, включал анализ четырёх критических уровней силовой нагрузки (40400, 40000, 39540 и 30000 Н). На основании полученных данных сформулированы заключения:

- При неизменном барическом уровне понижение радиальной нагрузки на 20 % существенно снижает термический режим шины.
- Снижение внешней температуры атмосферы на 20 °С ощутимо понижает тепловой режим газа внутри полости покрышки.
- Уменьшение осевой нагрузки эффективнее понижает термонагрев шин, особенно при росте угловой скорости колеса.

$$\tau = \frac{G_k f v}{129000 k D_c B}, \ ^0\text{C} \qquad (5)$$

Из анализа выражения (5) следует, что величина опорной нагрузки Gk, параметр коэффициента сопротивления качению f и поступательная скорость вращения v оказывают непосредственное влияние на тепловое состояние покрышки т. Поэтому при росте вертикальной нагрузки на колесо, чтобы сохранять допустимый тепловой режим покрышки и исключать её термический перегрев, необходимо пропорционально понижать скорость движения. Дополнительно допускается управлять коэффициентом сопротивления качению посредством коррекции внутреннего давления воздуха внутри шины. Обратная корреляция проявляется между шириной беговой дорожки и средним посадочным диаметром покрышки: увеличение указанных геометрических параметров понижает рабочую температуру. Опираясь на результаты уравнения (5), можно определить установившуюся температуру нагрева шины, а далее, применив соответствующее соотношение, вычислить её внутреннее давление согласно стандартизованной инженерной газодинамике:

$$p = \frac{P_0}{T_0}\left(\frac{G_k f v}{129000 k D_c B} + 273\right), \text{ кгс/см}^2 \qquad (6)$$

где P_0 и T_0 – соответственно давление и температура газа в неподвижной шине до начала движения.

Заключение. В процессе эксплуатации пневматической автомобильной шины наибольшее сохранение рисунка протектора обеспечивается при оптимальном рабочем давлении в камере и корректной статической нагрузке. Контроль и регулирование внутреннего давления формируют требуемый радиальный прогиб каркаса, соответствующий нормированным величинам. При предельно допустимой нагрузке радиальная деформация грузовой шины колеблется в пределах 10-12 % высоты профиля. Таким образом, при идеальном соотношении нагрузки и давления абразивный износ минимален, поскольку усилие распределяется равномерно по пятну контакта. Каждая конструктивная серия шины требует индивидуальной калибровки указанных параметров, изложенной в эксплуатационном регламенте. Чрезмерное давление концентрирует напряжения в центральной зоне пятна. С понижением давления выравнивается контактное напряжение, однако при значительном разряжении возникает «мостовой» эффект: периферия перегружена, середина разгружена, растёт температура и ускоряется стирание кромок протектора, что снижает ресурс, ухудшает теплоотвод, повышает риск расслоения каркаса и возможного отказа покрышки. Такое неправильное давление особенно опасно при высоких скоростях.

Шины автомобилей подвержены прямому атмосферному воздействию, вследствие чего осуществляют термодинамическую адаптацию к внешней температуре посредством конвективного и радиационного теплообмена. Указанный процесс обусловлен множеством параметров, среди них – модуль ветрового потока и его азимут. Следует подчеркнуть, что температурный профиль окружающей среды испытывает суточные и сезонные флуктуации.

Изменение давления воздуха в пневматической шине при температурных колебаниях описывается уравнением состояния идеального газа и принципами теплообмена, поэтому количественная оценка эффекта осложняется неопределённостью фактической термодинамической температуры рабочей среды и точностью применяемых датчиков.

Давление находящегося в шине газа увеличивается при нагреве и уменьшается при остывании в соответствии с фундаментальными физическими законами. Таким образом, расчет изменения давления в шине вследствие изменения температуры находящегося в шине газа представляет собой сложную задачу из-за трудности определения этой температуры.

В результате обработки экспериментальных данных были определены величины нормативного и фактического износа протектора шин, а также требуемый и фактический ресурсы автомобильной шины. Фактический ресурс шины не достигает нормативного из-за высокой интенсивности износа протектора, на который оказывают влияние следующие факторы: состояние дороги, климатические условия, скорость движения, нагрузка на АТС, мастерство вождения, давление в шине, продольный наклон оси поворота и др. Нагрузка на АТС является неизменной и постоянной величиной в зависимости от конструкции автомобиля. Определяющими факторами износа шин являются давление в шине, скорость движения и рост температуры шины.

Имея значения остаточного ресурса шины, можно прогнозировать время выбытия шин из эксплуатации, а также позволить службе материально-технического снабжения планировать пополнение запаса шин на складе. Специалист, отвечающий на предприятии за экологическое сопровождение, оперируя данными по ресурсу шин, может вести плановую отчетность и прогнозировать вывоз отработавших шин с утилизационного склада.

Conclusion. During operation of a pneumatic tire, the best tread pattern retention is ensured by optimal tube pressure and correct static load. Monitoring and adjusting the internal pressure creates the required radial carcass deflection, corresponding to standardized values. At maximum permissible load, the radial deformation of a truck tire fluctuates between 10-12 % of the profile height. Thus, with an ideal load-to-pressure ratio, abrasive wear is minimal, as the force is distributed evenly across the contact patch. Each tire series requires individual calibration of these parameters, as outlined in the operating instructions. Excessive pressure concentrates stress in the central area of the contact patch. As pressure decreases, the contact stress equalizes, but with significant vacuum, a "bridging" effect occurs: the periphery is overloaded, the center is relieved, temperature rises and treads edge wear accelerates, reducing service life, impairing heat dissipation, and increasing the risk of carcass delamination and possible tire failure. This incorrect pressure is especially dangerous at high speeds.

The pressure of the gas in a tire increases as it heats up and decreases as it cools down, in accordance with fundamental physical laws. Therefore, calculating the change in tire pressure due to changes in the temperature of the gas in the tire is a complex task due to the difficulty of determining this temperature.

Knowing the tire's remaining life allows us to predict when tires will be retired, and the procurement department can forecast tire replenishment. Using tire life data, a specialist responsible for environmental management at a company can maintain scheduled reports and forecast the removal of used tires from the recycling warehouse.

Библиографический список

1. Danilov I., Marusin A., Mikhlik M., Uspensky I. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement. Transport Problems. 2020. Vol. 15. No 1. Pp. 93-104.

2. Колотов А. С. и др. Эффективность телематики в технической эксплуатации автотранспорта. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 504-511.

3. Успенский И. А. и др. Вероятностная модель прогнозирования износа тормозных колодок. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2021. Т. 13. № 3. С. 112-119.

4. Успенский И. А. и др. Учет запасных частей на складе дилерской СТО. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 390-402.

5. Юхин И. А. и др. Анализ и прогнозирование потребностей дилерской СТО в запасных частях. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 411-421.

6. Дидманидзе О. Н. и др. Техническое регулирование в области сельскохозяйственных самоходных машин с учетом переоснащения и внесения изменений в конструкцию. Транспортное дело России. 2024. № 2. С. 91-94.

7. Фадеев И. В. и др. Электротракторы сельскохозяйственного назначения: проблемы и перспективы развития. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 4(82). С. 492-502.

8. Успенский И. А. и др. Повышение эффективности работы грузовых автомобилей в АПК цифровизацией их эксплуатации. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 464-474.

9. Успенский И. А. и др. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей на линии "fueltruck". Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2025. Т. 17. № 3. С. 138-147.

10. Рябчиков Д. С. и др. Актуализация применения информационных технологий в сфере грузоперевозок. Транспортное дело России. 2024. № 3. С. 274-277.

11. Карташов А. А. и др. Диагностирование рулевого управления и подвески автомобилей в процессе эксплуатации. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 3. С. 134-140.

12. Успенский И. А. и др. Оценка состояния износа тормозных колодок. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 3 (47). С. 119-125.

References

1. Danilov I., Marusin A., Mikhlik M., Uspensky I. Development of the mathematical model of fuel equipment and justification for diagnosing diesel engines by injector needle displacement. Transport Problems. 2020. Vol. 15. No 1. Pp. 93-104.

2. Kolotov A. S. et al. The effectiveness of telematics in the technical operation of vehicles. Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2025. No 3 (81). Pp. 504-511.

3. Uspensky I. A. et al. A probabilistic model for predicting brake pad wear. Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev. 2021. Vol. 13. No 3. Pp. 112-119.

4. Uspensky I. A. et al. Accounting of spare parts in the dealer service station warehouse. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2025. No 2 (80). Pp. 390-402.

5. Yukhin I. A. et al. Analysis and forecasting of dealer service station needs for spare parts. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and higher professional education. 2025. No 2 (80). Pp. 411-421.

6. Didmanidze O. N. et al. Technical regulation in the field of agricultural self-propelled machines, taking into account retrofitting and making changes to the design. The transport business of Russia. 2024. No 2. Pp. 91-94.

7. Fadeev I. V. et al. Electric tractors for agricultural purposes: problems and development prospects. Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 4 (82). Pp. 492-502.

8. Uspensky I. A. et al. Improving the efficiency of trucks in the agro-industrial complex through digitalization of their operation. Bulletin of the Nizhnevolzhsky Agro-university Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 5 (83). Pp. 464-474.

9. Uspensky I. A. et al. Improving the efficiency of vehicle operation on the "fueltruck" line. Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev. 2025. Vol. 17. No 3. Pp. 138-147.

10. Ryabchikov D.S. et al. Updating the Application of Information Technologies in Freight Transportation. Transport Business of Russia. 2024. No 3. Pp. 274-277.

11. Kartashov A. A. et al. Diagnostics of Vehicle Steering and Suspension during Operation. Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev. 2024. Vol. 16. No 3. Pp. 134-140.

12. Uspensky I. A. et al. Assessment of Brake Pad Wear. Bulletin of the Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev. 2020. No 3 (47). Pp. 119-125.

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, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Бышов Дмитрий Николаеич, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: dmitry.byshov@yandex.ru

Астахов Павел Александрович, студент, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: yoshihamura@mail.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 (103426, Russian Federation, 103426, Moscow, B. Dmitrovka Str., 26), e-mail: rvai@mail.ru

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru

Byshov Dmitry Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Ryazan State Agro-technological University named after P.A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: dmitry.byshov@yandex.ru

Astakhov Pavel Aleksandrovich, Student, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: yoshihamura@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-60

THE TURBO DISC CULTIVATOR NEEDLE DISC OPERATING PARAMETER OPTIMIZATION FOR THE VERTICAL TILLAGE

Priporov I. E., Kurasov V. S., Batsunov V. I.

Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, Russian Federation

Corresponding author E-mail: i.priporov@yandex.ru

Received 03.02.2026 Submitted 22.05.2026

Summary

The article presents the results of optimizing the operating parameter of the needle disk of a turbo disc cultivator for vertical tillage. The research results showed that an increase in the number of needle discs from 1 to 6 pcs. leads to an increase in the rotation frequency of wavy discs and a decrease in rotation time with a different number of blades on the disc.

Abstract

Introduction. The most popular are vertical tillage tools and the concept of "vertical tillage", which is designed to process a large number of plant residues. Discs for it are used to grind the residues into pieces and partially embed them in the soil. The analysis of literature sources has shown that in most cases, the spatial distribution of residues occurs without their effective removal, as well as the designs of aggregates and working bodies for their post-harvest grinding is of great importance. The purpose of the work is to improve the design of a turbo disc cultivator for vertical tillage by optimizing the operating parameter of the needle disk. **Materials and methods.** The results of the work are based on patent studies of well-known disk tillage working bodies and tillage disk batteries. The article presents the technological process of the developed turbo disc cultivator according to RF patent No. 2825223. The developed cultivator allows to reduce traction resistance and improve the quality of their sealing, expand its functional capabilities. Based on the laws of theoretical mechanics, expressions are obtained for determining the rotation frequency of wavy discs of a turbo disc cultivator. **Results and conclusion.** The results of determining the angular velocity and rotation time of a needle disk, depending on their number, are presented. An increase in their number leads to an increase in the angular velocity of its rotation. An increase in the number of needle discs from 1 to 6 pcs. leads to an increase in the rotation frequency of wavy discs. With the same number of blades on the needle disc equal to 8 pcs. the rotational speed of f_w = 61.45...632.07 min^{-1}, 6 pcs. – f_w = 46.09...474.05 min^{-1}, 4 pcs. – f_w = 30.73...316.03 min^{-1} with a different number of them. The frequency of rotation of the wavy disk depends on the angle of rotation and their number, the number of blades on the needle disk, the frequency of rotation and their number. Increasing their number from 1 to 6 pcs. the rotation time decreases with a different number of blades on the disk. At the same time, reducing the number of blades from 8 to 4 pcs. increases its rotation time with different amounts.

Keywords: *wavy discs, needle discs, turbo disc cultivators, soil cultivation technologies, and vertical soil cultivation.*

Citation. Priporov I. E., Kurasov V. S., Batsunov V. I. The turbo disc cultivator needle disc operating parameter optimization for the vertical tillage. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 544-550 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-60.

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

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

УДК 631.316.2

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМНОГО ПАРАМЕТРА ИГОЛЬЧАТОГО ДИСКА ТУРБОДИСКОВОГО КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Припоров И. Е., *доктор технических наук, доцент ВАК, профессор*
Курасов В. С., *доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой*
Бацунов В. И., *аспирант*

ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина
г. Краснодар, Российская Федерация

Актуальность. Наибольшую популярность приобретают вертикальные почвообрабатывающие орудия и понятие «вертикальная обработка почвы», которая предназначена для обработки большого количества растительных остатков. Диски для нее осуществляют измельчение остатков на кусочки и частичное заделывание их в почву. Анализ литературных источников показал, что в большинстве случаев происходит пространственное распределение остатков без эффективного их уда-

ления, а также выбор конструкций агрегатов и рабочих органов для их послеуборочного измельчения имеет большое значение. **Цель работы** – совершенствование конструкции турбодискового культиватора для вертикальной обработки почвы путем оптимизации режимного параметра игольчатого диска. **Материалы и методы.** Результаты работы основаны на патентных исследованиях известных дисковых почвообрабатывающих рабочих органов и почвообрабатывающих дисковых батарей. Приведены недостатки существующих рабочих органов и почвообрабатывающих дисковых батарей. В статье представлен технологический процесс работы разработанного турбодискового культиватора по патенту РФ № 2825223. Разработанный культиватор позволяет снизить тяговое сопротивление и повысить качество заделки, расширить его функциональные возможности. На основе законов теоретической механики получены выражения для определения частоты вращения волнистых дисков турбодискового культиватора. **Результаты и обсуждение.** Приведены результаты определения угловой скорости и времени вращения игольчатых дисков в зависимости от их количества. Повышение количества дисков приводит к росту угловой скорости их вращения. **Выводы.** Увеличение количества игольчатых дисков с 1 до 6 шт. приводит к росту частоты вращения волнистых дисков. При одинаковом количестве лопаток на игольчатом диске, равном 8 шт., частота вращения составляет: для 8 шт. – $n_в$ = 61,45…632,07мин$^{-1}$, для 6 шт. – $n_в$ = 46,09…474,05 мин$^{-1}$, 4 шт. – $n_в$ = 30,73…316,03 мин$^{-1}$. Частота вращения волнистого диска зависит от угла поворота, количества игольчатых дисков, количества лопаток на них и частоты вращения. При увеличении количества дисков от 1 до 6 шт. время вращения снижается при разном количестве лопаток на диске. При этом уменьшение количества лопаток с 8 до 4 шт. увеличивает время вращения при разном количестве дисков.

Ключевые слова: *волнистые диски, игольчатые диски, турбодисковые культиваторы, технологии обработки почвы, вертикальная обработка почвы.*

Цитирование. Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И. Оптимизация режимного параметра игольчатого диска турбодискового культиватора для вертикальной обработки почвы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 544-550. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-60.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Растет применение технологий вертикальной обработки почвы (ВОП) соответственно разрабатываются рабочие органы или орудия для выполнения данной технологии. При этом наибольший интерес приобретает такое понятие, как ВОП [1].

Данный вид обработки появился недавно и предназначен для обработки большого количества растительных остатков (РО). Диски, используемые для ВОП, осуществляют измельчение РО на кусочки и частичное заделывание их в почву с минимальным ее повреждением [2, 3]. Исследования, проведенные учеными Klingberg K., Weisenbeck C., Watters H. D., Douridas N. N., показали многообещающие результаты ее применения при сохранении почвы и воды, а также урожайности сельскохозяйственных культур [4, 5]. Проведено мало исследований о механизмах динамики почвы дисками для ВОП [2].

Большинство исследований эффективности дисковой обработки почвы сосредоточены на силе резания почвы [6], пространственном распределении РО [7] и эффективности использования топлива [8], но не эффективности удаления РО [2].

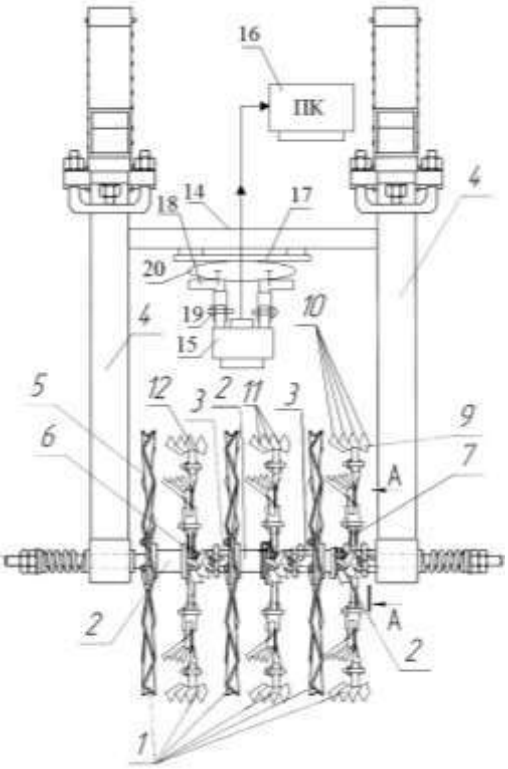
Основным требованием к выполнению работы почвообрабатывающего агрегата, в качестве которого выступает турбодисковый культиватор (ТДК) является измельчение растительных остатков в верхнем слое [9] игольчатыми дисками (ИД) с лопатками [10].

Анализ конструкций рабочих органов для послеуборочного измельчения имеет большое значение [11].

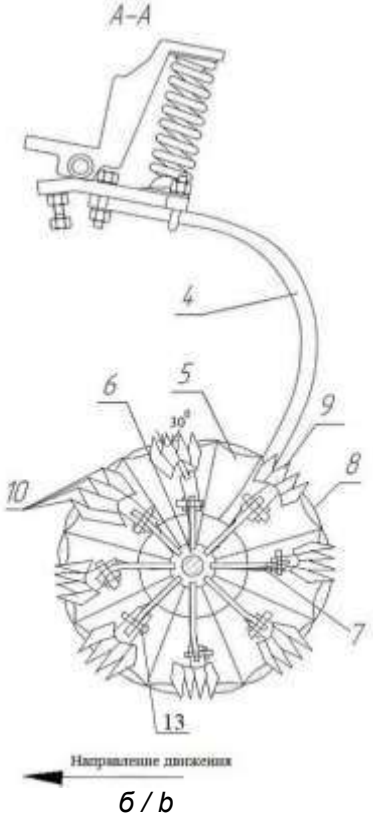
Цель исследований – совершенствование конструкции турбодискового культиватора для вертикальной обработки почвы путем оптимизации режимного параметра игольчатого диска.

Материалы и методы. Проведенные патентные исследования известных дисковых почвообрабатывающих батарей (ДПБ) позволили выявить их недостатки: отсутствие возможности глубины заделки ИД, подбора высоты его лопаток и изменения ширины междурядья для подсолнечника.

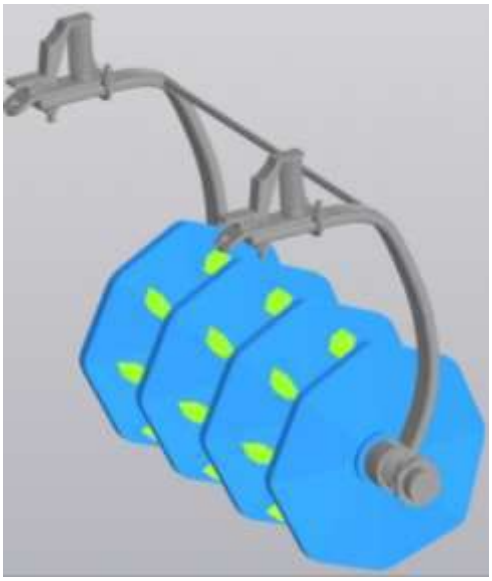
Для устранения выявленных недостатков разработан ТДК (рисунок 1) [12].



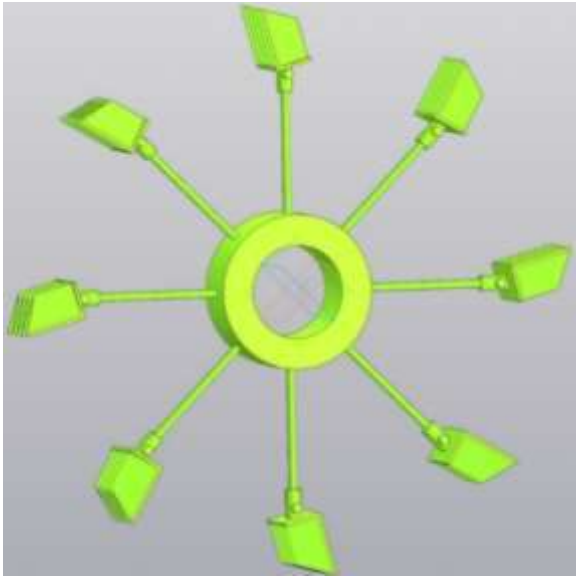
а / a



б / b



с / c



г / d

Рисунок 1 – Секция ТДК: *а* – общий вид; *б* – вид сбоку; *в* – 3-D модель;
г – 3-D модель игольчатого диска (ИД)
Figure 1 – Turbo disc cultivator: *a* – general view; *b* – side view; *c* – 3-D model; *d* – 3-D needle disc model

Технологический процесс работы ТДК [12].

Игольчатые диски с зубчатыми лопатками 9 (рисунок 1, *а*) перетирают остатки (рисунок 1, *б*).

Лопатки в виде скребка 12 с режущей кромкой направлены к стерне подсолнечника. На подпружиненных стойках ДПБ по центру, над дисками 6, расположена установка для контроля технологического процесса их заделки. Машинист контролирует их заделку. Он

получает изображение заделанных остатков с помощью мультимедийного устройства 15 и далее подает его в программу Mathcad для определения качества заделки. Если качество не соответствует требованиям, то проводится дополнительная обработка.

В качестве РО использовали стерню подсолнечника.

При движении ИД (рисунок 1, *в*, *г*) его лопатки ударяют по стерне подсолнечника.

Исходя из схемы размещения волнистых дисков [13] и ИД (рисунок 1, *г*) определим количество волнистых дисков (ВД), которые необходимы для ТДК по выражению

$$k_{\text{в}} = b_{\text{иг}} + 1, \tag{1}$$

где $k_{\text{в}}$, $b_{\text{иг}}$ – количество ВД и ИД соответственно.

Угловая скорость ($\omega_{\text{иг}}$) вращения ИД в зависимости от их количества определяется по выражению

$$\omega_{\text{иг}} = 0{,}105 \cdot n_{\text{иг}} \cdot b_{\text{иг}}, \tag{2}$$

где $n_{\text{иг}}$ – частота его вращения, мин$^{-1}$.

Время его вращения определяется по выражению [14]:

$$t_{\text{иг}} = \frac{\varphi_{\text{иг}}}{\omega_{\text{иг}}}, \tag{3}$$

где $\varphi_{\text{иг}}$ – угол его поворота, рад.

Угол поворота ИД определяется по выражению

$$\varphi_{\text{иг}} = \frac{360°}{k_{\text{л}}}, \tag{4}$$

где $k_{\text{л}}$ – количество лопаток на ИД, шт.

С учетом (2), (4) выражение (3) будет

$$t_{\text{иг}} = \frac{360°}{0{,}105 \cdot k_{\text{л}} \cdot n_{\text{иг}} \cdot b_{\text{иг}}}. \tag{5}$$

Время его вращения зависит от количества лопаток на нем и частоты его вращения.

Окружная скорость вращения лопаток ИД определяется с учетом выражения (2)

$$\vartheta_{\text{о}} = 0{,}105 \cdot n_{\text{иг}} \cdot b_{\text{иг}} \cdot L_1. \tag{6}$$

Окружная скорость лопаток ИД зависит от частоты его вращения, их количества и длины лопаток.

Время вращения волнистого диска определяется по аналогии с ИД

$$\omega_{\text{в}} = \frac{\pi n_{\text{в}}}{30} \cdot k_{\text{в}}, \tag{7}$$

с учетом (7) будет

$$t_{\text{в}} = \frac{9{,}554 \cdot \varphi_{\text{в}}}{n_{\text{в}} \cdot k_{\text{в}}}. \tag{8}$$

С учетом того, что ИД приводятся в движение за счет вращения ВД, то $t_{\text{в}} = t_{\text{иг}}$. тогда

$$\frac{9{,}554 \cdot \varphi_{\text{в}}}{n_{\text{в}} \cdot k_{\text{в}}} = \frac{360°}{0{,}105 \cdot k_{\text{л}} \cdot n_{\text{иг}} \cdot b_{\text{иг}}},$$

$$n_{\text{в}} = \frac{\varphi_{\text{в}} \cdot k_{\text{л}} \cdot n_{\text{иг}} \cdot b_{\text{иг}}}{2\pi \cdot k_{\text{в}}}. \tag{9}$$

Частота вращения ВД зависит от угла поворота и количества ВД, количества лопаток на ИД, частоты вращения и количества ИД.

Результаты и обсуждение. Результаты определения угловой скорости ($\omega_{\text{иг}}$) вращения ИД рассчитанные по формуле (2) в зависимости от их количества, представлены на графике (рисунок 2).

Повышение их количества приводит к росту угловой скорости вращения ИД.

Результаты определения времени вращения ИД в зависимости от их количества, выполненные по формуле (5), представлены на графике (рисунок 3).

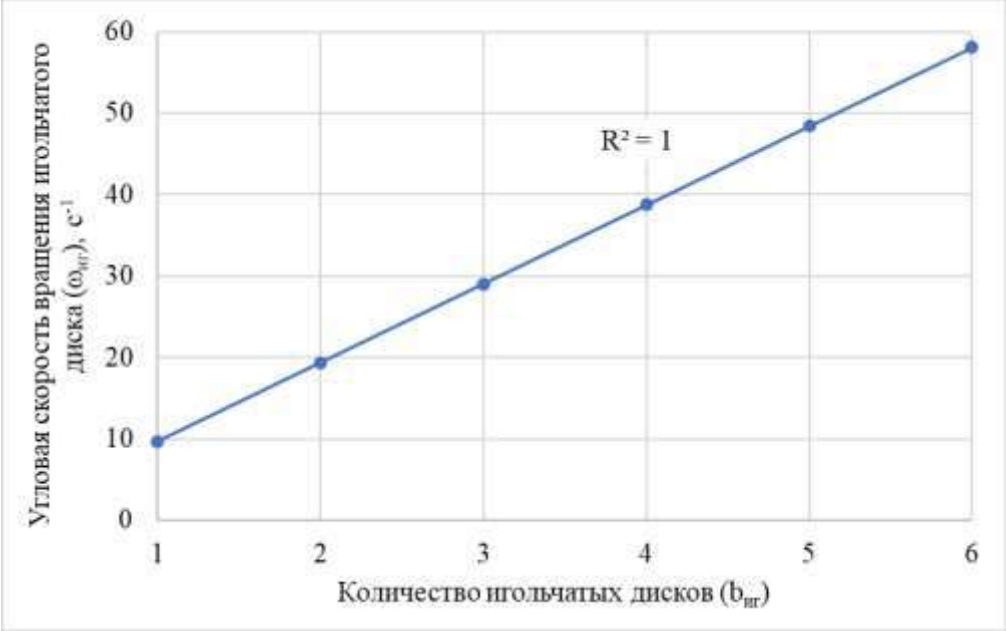


Рисунок 2 – График зависимости угловой скорости вращения ИД от их количества
Figure 2 – Graph of the dependence of the angular velocity of rotation of the needle disk on their number

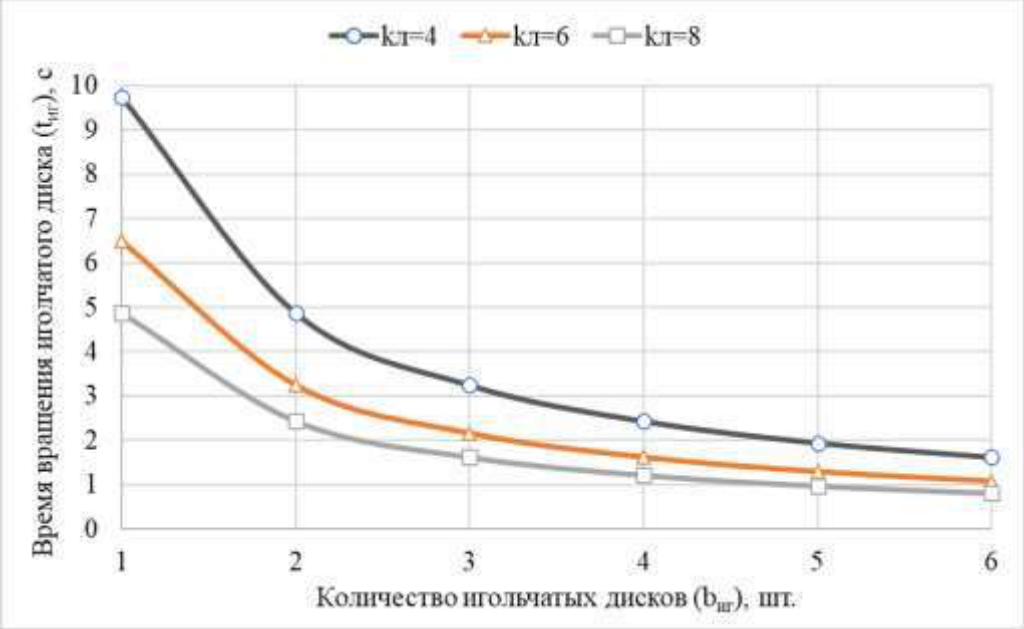


Рисунок 3 – График зависимости времени вращения ИД от их количества
Figure 3 – Graph of the dependence of the rotation time of the needle disk on their number

С ростом количества ИД от 1 до 6 шт. время вращения снижается при разном количестве лопаток на диске. При этом уменьшение количества лопаток с 8 до 4 шт. приводит к увеличению времени его вращения с разным количеством ИД (рисунок 3).

При использовании формулы (9) была определена частота вращения волнистого диска в зависимости от количества ИД. Полученная зависимость приведена на рисунке 4.

Анализ представленных данных на рисунке 4 показывает, что увеличение количества игольчатых дисков с 1 до 6 шт. приводит к росту частоты вращения волнистых дисков. При одинаковом количестве лопаток на игольчатом диске равном 8 шт. частота вращения $n_в$ = 61,45…632,07 мин$^{-1}$, 6 шт. – $n_в$ = 46,09…474,05 мин$^{-1}$, 4 шт. – $n_в$ = 30,73…316,03 мин$^{-1}$ с разным их количеством от 1 до 6 шт.

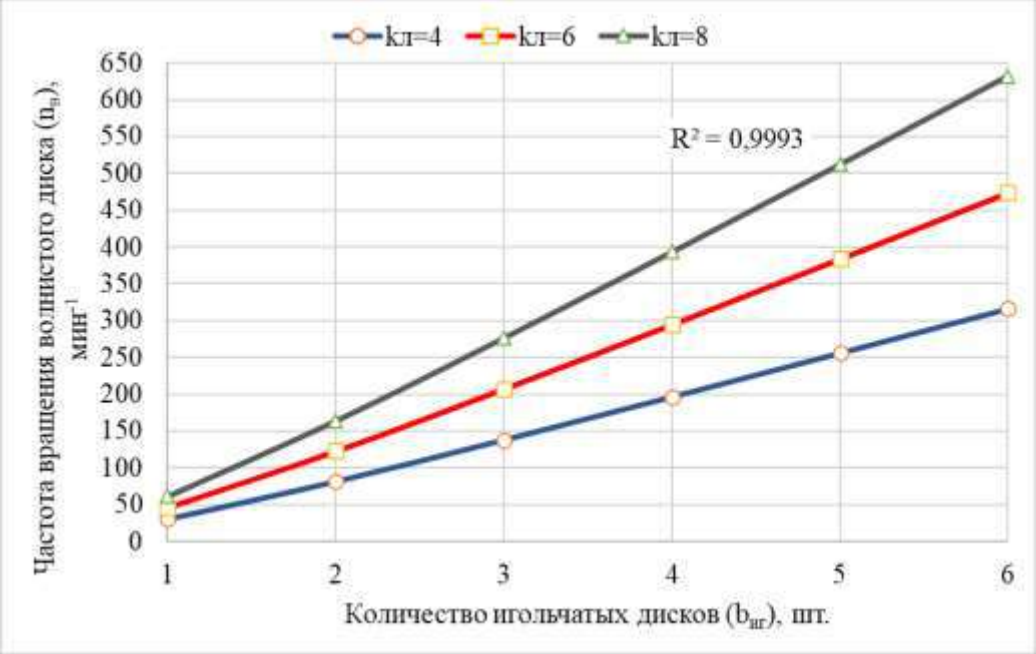


Рисунок 4 – Зависимость частоты вращения волнистых дисков от количества ИД
Figure 4 – Dependence of the frequency of rotation of wavy discs on the number of needle discs

С ростом количества игольчатых дисков от 1 до 6 шт. время вращения снижается при разном количестве лопаток на диске. При этом уменьшение количества лопаток с 8 до 4 шт. приводит к увеличению времени его вращения с разным количеством игольчатых дисков.

Заключение. Увеличение количества ИД с 1 до 6 шт. приводит к росту частоты вращения ВД. При одинаковом количестве лопаток на ИД равном 8 шт. частота вращения $n_в$ = 61,45…632,07 мин$^{-1}$, 6 шт. – $n_в$ = 46,09…474,05 мин$^{-1}$, 4 шт. – $n_в$ = 30,73…316,03 мин$^{-1}$ с разным их количеством.

Частота вращения ВД зависит от угла поворота и количества ВД, количества лопаток на ИД, частоты вращения и количества ИД.

При повышении количества ИД от 1 до 6 шт. время вращения снижается при разном количестве лопаток на диске. При этом уменьшение количества лопаток с 8 до 4 шт. увеличивает время его вращения при разном количестве ИД.

Conclusions. An increase in the number of needle discs from 1 to 6 pcs. leads to an increase in the rotation frequency of wavy discs. With the same number of blades on the needle disc equal to 8 pcs. the rotational speed of n_{wd} = 61.45...632.07 min^{-1}, 6 pcs. – n_{wd} = 46.09...474.05 min^{-1}, 4 pcs. – n_{wd} = 30.73...316.03 min^{-1} with a different number of them.

The rotation frequency of the wavy disc depends on the angle of rotation and the number of wavy discs, the number of blades on the needle disc, the rotation frequency and the number of needle discs.

Increasing the number of needle discs from 1 to 6 pcs. the rotation time decreases with a different number of blades on the disc. At the same time, reducing the number of blades from 8 to 4 pcs. increases its rotation time with different amounts.

Библиографический список

1. Ernst M. Remember these best practices when it comes to vertical tillage. Crops & Soils. 2022. V. 55. No 6. Pp. 22-25.
2. Zeng Zh., Thoms D., Chen Y., Ma X. Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage. Scientific Reports. 2021. V. 11. No 1. Pp. 1-10.
3. Chen Y., Damphousse S., Li H. Vertical tillage and vertical seeding. Paper No. CSBE16-090. CSBE/SCGAB 2016 Annual Conference. Halifax, 2016.
4. Klingberg K., Weisenbeck C. Shallow vertical tillage: impact on soil disturbance and crop residue. Proceedings of the 2011 Wisconsin Crop Management Conference. 2011. V. 50. Pp. 46-49.
5. Watters H. D., Douridas N. N. Soybean Seeding Rates by Tillage: no-till Vs Vertical Till. Ohio State University. 2013. http://agcro ps.osu.edu/sites/agcrops/fles/ofr_reports/Soybean-Seeding-Rate-and-Tillage.pdf
6. Zeng Z., Chen Y., Qi L. Soil cutting by a compact disc harrow having various disc arrangements. Trans. ASABE. 2019. No 62. Pp. 429-437.

7. Zeng Z., Chen Y. Performance evaluation of futed coulters and rippled discs for vertical tillage. Soil Till. Res. 2018. No 183. Pp. 93-99.

8. Damanauskas V., Velykis A., Satkus A. Efciency of disc harrow adjustment for stubble tillage quality and fuel consumption. Soil Till Res. 2019. No 194. Art. 104311.

9. Лепешкин Н. Д., Мичурин В. В., Филиппов А. И. Требования к рабочим органам агрегата для основной обработки склоновых земель и выбор их типа. Современные технологии сельскохозяйственного производства: сборник научных статей по материалам XXV Международной научно-практической конференции. Гродно, 2022. С. 89-91.

10. Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И. Кинематика игольчатого диска с лопатками в турбодисковом культиваторе при измельчении растительных остатков. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3 (67). С. 215-222.

11. Козлов Н. С. Обзор и анализ конструкций рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов для измельчения растительных остатков. Вестник Белорусской ГСХА. 2017. № 1. С. 123-125.

12. Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И. Разрушение стерни подсолнечника лопатками игольчатого диска инновационного турбодискового культиватора. Инженерные технологии и системы. 2025. Т. 35. № 4. С. 750-769.

13. Neeraj K., Sawant C. P., Sharma R. K. et al. Combined effect of disc coulters and operational speeds on soil disturbance and crop residue cutting under no-tillage system in soil bin. Journal of Scientific & Industrial Research. 2021. V. 80. Pp. 739-749.

14. Нуриев Л. М. Обоснование параметров и разработка ротационного орудия с коаксиальным расположением рабочих органов для предпосевной обработки почвы: дисс. Казань: КГАУ, 2023. 145 с.

References

1. Ernst M. Remember these best practices when it comes to vertical tillage. Crops & Soils. 2022. V. 55. No 6. Pp. 22-25.

2. Zeng Zh., Thoms D., Chen Y., Ma X. Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage. Scientific Reports. 2021. V. 11. No 1. Pp. 1-10.

3. Chen Y., Damphousse S., Li H. Vertical tillage and vertical seeding. Paper No. CSBE16-090. CSBE/SCGAB 2016 Annual Conference. Halifax, 2016.

4. Klingberg K., Weisenbeck C. Shallow vertical tillage: impact on soil disturbance and crop residue. Proceedings of the 2011 Wisconsin Crop Management Conference. 2011. V. 50. Pp. 46-49.

5. Watters H. D., Douridas N. N. Soybean Seeding Rates by Tillage: no-till Vs Vertical Till. Ohio State University. 2013. http://agcro ps.osu.edu/sites/agcrops/fles/ofr_reports/Soybean-Seeding-Rate-and-Tillage.pdf

6. Zeng Z., Chen Y., Qi L. Soil cutting by a compact disc harrow having various disc arrangements. Trans. ASABE. 2019. No 62. Pp. 429-437.

7. Zeng Z., Chen Y. Performance evaluation of futed coulters and rippled discs for vertical tillage. Soil Till. Res. 2018. No 183. Pp. 93-99.

8. Damanauskas V., Velykis A., Satkus A. Efciency of disc harrow adjustment for stubble tillage quality and fuel consumption. Soil Till Res. 2019. No 194. Art. 104311.

9. Lepeshkin N. D., Michurin V. V., Filippov A. I. Requirements for the working bodies of the unit for the main processing of sloping lands and the choice of their type. Modern agricultural production technologies: collection of scientific articles based on the materials of the XXV International Scientific and Practical Conference. Grodno, 2022. Pp. 89-91.

10. Priporov I. E., Kurasov V. S., Batsunov V. I. Kinematics of a needle disk with blades in a turbodisc cultivator during grinding of plant residues. Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. № 3 (67). Pp. 215-222.

11. Kozlov N. S. Review and analysis of the structures of the working bodies of tillage units for crushing plant residues. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2017. No 1. Pp. 123-125.

12. Priporov I. E., Kurasov V. S., Bacunov V. I. Breaking sunflower stubble by needle disk blades of an innovative turbo disc cultivator. Engineering Technologies and Systems. 2025. No 35 (4). Pp. 750-769.

13. Neeraj K., Sawant C. P., Sharma R. K. et al. Combined effect of disc coulters and operational speeds on soil disturbance and crop residue cutting under no-tillage system in soil bin. Journal of Scientific & Industrial Research. 2021. V. 80. Pp. 739-749.

14. Nuriev L. M. Substantiation of parameters and development of a rotary implement with a coaxial arrangement of working bodies for pre-sowing tillage: dissertation. Kazan: KSAU, 2023. 145 p.

Информация об авторах

Припоров Игорь Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: i.priporov@yandex.ru

Курасов Владимир Станиславович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: kurasoff@gmail.com

Бацунов Владимир Игоревич, аспирант, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (Российская Федерация, 350044, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13), e-mail: vovasvovas70@bk.ru

Authors' Information

Priporov Igor Evgenevich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: i.priporov@yandex.ru

Kurasov Vladimir Stanislavovich, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: kurasoff@gmail.com

Batsunov Vladimir Igorevich, postgraduate student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Russian Federation, 350044, Krasnodar, Kalinin Str., 13), e-mail: vovasvovas70@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-61

THE RESEARCH RESULTS ON THE SORGHUM HARVESTER WITH THE GRINDER FOR GRAIN SORGHUM

Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Sharipov R. V., Lobachev D. R.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

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

Received 03.04.2026 Submitted 05.05.2026

Summary

In the arid climate of the Lower Volga region, chopping crop residues during harvesting, evenly spreading the chopped material across the field, and incorporating it into the topsoil is essential for rapid decomposition and improving soil fertility. To address this issue, a device for chopping threshed grain sorghum plants and incorporating the chopped material into the topsoil was developed for use with a sorghum harvester using the inertial-stripping method. The main working element of this device is a non-powered roller with 16 uniformly mounted knives and blades. Research was conducted with two roller options: one with smooth and one with wavy blades. Experimental studies demonstrated the performance of the improved sorghum harvester. It was found that the penetration depth of the knives into the soil corresponds to the specified agricultural requirements; knives with wavy blades penetrate into the soil to a greater depth than knives with straight blades; 82 % of the pieces of chopped stems were between 150 mm and 180 mm long; about 60 % of the pieces of chopped stems were completely covered with soil.

Abstract

Introduction. Scientists and practitioners have proven that when plant residues are added to the topsoil, there is a high probability of increasing soil fertility. In this case, the plant residues should be crushed, evenly distributed over the field, and incorporated into the soil to a depth of 10-15 cm. Modern technologies for harvesting grain crops do not provide for threshing, chopping, and incorporation of chopped plants into the soil by a single unit, which leads to increased operating costs and soil compaction when multiple units pass through the field. In this regard, the introduction of technologies and technical means for harvesting grain sorghum, which ensure the threshing of plants, their grinding, and incorporation of the ground mass into the soil with a single unit, is currently relevant. **The purpose of this work** is to develop technical and technological measures for post-harvest grinding of grain sorghum plant residues and their incorporation into the topsoil using a sorghum harvester. **Materials and methods.** The materials of this article are based on a summary of scientific research, the use of which in agricultural production will increase crop yields by incorporating the shredded plant residues of the harvested crop into the topsoil, and are a continuation of the authors' previous work. **Object.** The object of the study is the plant residues of grain sorghum of the Ataman variety after they are threshed on the field using an improved sorghum combine harvester designed by the Volgograd State Agricultural University. Research on the quality assessment of the threshed grain sorghum plants was conducted during its harvesting in a field with light chestnut soil. To achieve the set goal, the possibility of using the method of harvesting grain sorghum proposed by the Volgograd State Agricultural University based on the developed sorghum harvester was considered. **Results and discussion.** The sorghum harvester, which threshes grain sorghum using the inertial-shearing method, is additionally equipped with a device for chopping pre-threshed sorghum plants, which consists of a lever, a hollow cylindrical roller equipped with a plug and fixed to the hub, and a hydraulic cylinder. 16 knives are placed along the roller's generatrix with equal spacing. In the experimental studies, knives with straight and wavy cutting edges were used. To increase the pressure of the knives on the crushed plant residues and soil, the roller was filled with water. Experimental studies have shown that the depth of the knives in the soil corresponds to the specified agricultural requirements; knives with wavy blades penetrate deeper into the soil than knives with straight blades; 82 % of the chopped stem pieces were between 150 mm and 180 mm long; and about 60 % of the chopped stem pieces were completely covered with soil. **Conclusions.** A review of scientific research shows that in the arid climate of the Lower Volga region, the crushing of plant residues of agricultural crops, in particular grain sorghum, during harvesting, the uniform spreading of the crushed mass across the field across the width of the harvesting unit with its incorporation into the top layer of soil ensures an increase in soil fertility in subsequent years due to the accumulation of humus; improving the soil structure by increasing the proportion of water-stable aggregates and reducing its bulk density; retaining moisture by reducing its evaporation; pro-tecting the soil from overheating due to the formation of a mulch layer, which smooths out temperature fluctuations; accelerating the decomposition of organic matter and the mineralization of nutrients; reducing water and wind erosion by strengthening the topsoil with root residues. Experimental studies of a sorghum harvesting combine with inertial-stripping threshing of panicle crops, equipped with a device for crushing plant residues, demonstrated the operability of the design, high quality crushing of grain sorghum stems, uniform distribution of the crushed mass along the passage of the device roller and the incorporation of most of it into the upper soil layer.

Keywords: *sorghum grain, sorghum harvesting technologies, sorghum harvesters, plant residue grinding.*

Citation. Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Sharipov R. V., Lobachev D. R. The research results on the sorghum harvester with the grinder for grain sorghum. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 551-560 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-61.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.358

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОРГОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА С ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ ЗЕРНОВОГО СОРГО

Ряднов А. И., *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*
Федорова О. А., *доктор технических наук, профессор*
Шарипов Р. В., *кандидат технических наук, доцент*
Лобачев Д. Р., *аспирант*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Одной из особенностей климата Нижнего Поволжья является высокая степень его засушливости, что существенно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. От засухи особенно страдают зерновые колосовые культуры. Однако засушливые условия оказывают несущественное влияние на урожайность такой культуры, как сорго, в том числе и зерновое. Зерно и зеленая масса сорго широко используются для корма коров, овец, лошадей, свиней, кур, гусей, а также разных видов рыб. В связи с этим для укрепления кормовой базы в хозяйствах, расположенных в засушливых регионах Российской Федерации, площади зернового сорго должны расширяться. При расширении посевных площадей необходимо использовать такую технологию уборки сорго, которая позволяет не только обмолачивать растения со сбором зерна, но и эффективно использовать обмолоченные растительные остатки. Учеными и практиками доказано, что при внесении в верхний почвенный слой растительных остатков имеется высокая вероятность повышения плодородия почвы. При этом растительные остатки необходимо измельчать, равномерно распределять по полю и заделывать в почву на глубину до 10-15 см. Все вышеуказанное, в конечном счете, окажет влияние на увеличение урожайности последующих сельскохозяйственных культур. Современные технологии уборки зерновых культур не обеспечивают обмолот, измельчение и заделывание в почву измельченных растений в почву одним агрегатом, что приводит к росту эксплуатационных затрат при выполнении указанных операций и увеличению уплотнения почвы при проходах по полю нескольких агрегатов. В связи с этим внедрение в производство технологий и технических средств уборки зернового сорго, обеспечивающих обмолот растений, их измельчение и заделку измельченной массы в почву одним агрегатом актуально в настоящее время. **Цель работы** – разработать технические и технологические мероприятия по послеуборочному измельчению растительных остатков зернового сорго и их заделки в верхний слой почвы соргоуборочным комбайном. **Материалы и методы.** Материалы данной статьи базируются на обобщении научных работ, использование результатов которых в сельскохозяйственном производстве позволит повысить урожайность сельскохозяйственных культур за счет заделки измельченных растительных остатков убираемой сельскохозяйственной культуры в верхний слой почвы, и являются продолжением работ авторов статьи. **Объект исследования** – растительные остатки зернового сорго сорта «Атаман» после обмолота на корню инерционно-очесным способом усовершенствованным соргоуборочным комбайном конструкции Волгоградского ГАУ. Исследования по оценке качества измельчения обмолоченных растений зернового сорго проводились при его уборке на поле со светло-каштановой почвой. Для достижения поставленной цели в работе рассмотрена возможность использования предложенного в Волгоградском ГАУ способа уборки зернового сорго на основе разработанного соргоуборочного комбайна. **Результаты и обсуждение.** Соргоуборочный комбайн, осуществляющий обмолот зернового сорго инерционно-очесным способом, дополнительно оборудован устройством измельчения предварительно обмолоченных растений сорго, состоящим из рычага, полого катка цилиндрической формы, оборудованного пробкой и закрепленного на ступице и гидроцилиндра. По образующей катка размещены с равным шагом 16 ножей. При экспериментальных исследованиях использовались ножи с ровными и волнистыми режущими лезвиями. Для увеличения давления ножей на измельчаемые остатки растений и почву каток заполнялся водой. Экспериментальные исследования показали, что заглубление ножей в почву соответствует заданным агротехническим требованиям; ножи с волнистыми лезвиями углубляются в почву на большую глубину, чем ножи с ровными лезвиями; 82 % кусков измельченных стеблей имели длину от 150 мм до 180 мм; около 60 % кусков измельченных стеблей были полностью покрыты почвой. **Выводы.** Из обзора научных исследований следует, что в засушливом климате Нижнего Поволжья измельчение растительных остатков сельскохозяйственных культур, в частно-

сти зернового сорго, при уборке, равномерное разбрасывание измельченной массы по полю по ширине захвата уборочного агрегата с ее заделкой в верхний слой почвы обеспечивает в последующие годы повышение плодородия почвы за счет накопления гумуса; улучшение структуры почвы за счет увеличения доли водопрочных агрегатов и снижения ее объемной массы; сохранение влаги из-за снижения ее испарения; защиту почвы от перегрева в связи с образованием мульчирующего слоя, который сглаживает колебания температуры; ускорения разложения органических веществ и минерализации питательных веществ; снижения водной и ветровой эрозии за счет укрепления верхнего слоя почвы остатками корней. Экспериментальные исследования соргоуборочного комбайна с инерционно-очесным обмолотом растений метельчатых культур, оборудованного устройством измельчения растительных остатков, показали работоспособность конструкции, качественное измельчение стеблей зернового сорго, равномерное распределение измельченной массы по полосе прохода катка устройства и заделку большей ее части в верхний слой почвы.

Ключевые слова: *сорго зерновое, технологии уборки сорго, соргоуборочные комбайны, измельчение растительных остатков.*

Цитирование. Ряднов А. И., Федорова О. А., Шарипов Р. В., Лобачев Д. Р. Результаты исследований соргоуборочного комбайна с измельчителем растительных остатков зернового сорго. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 551-560. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-61.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Климат Нижнего Поволжья отличается от климата большинства других регионов Российской Федерации значительной степенью засушливости. Такая особенность климата существенно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. От засухи особенно страдают зерновые колосовые культуры. Однако засушливые условия оказывают несущественное влияние на урожайность такой культуры, как сорго, в том числе и зерновое.

Зернового сорго – засухоустойчивая, достаточно высокоурожайная и высокоотавная кормовая культура, устойчивая к почвенным и атмосферным засухам. Его возделывание весьма важно для создания кормовой базы для животноводства [1]. Зерно и зеленая масса сорго широко используются для корма коров, овец, лошадей, свиней, кур, гусей, а также разных видов рыб [2, 3]. В связи с этим для укрепления кормовой базы в хозяйствах, расположенных в засушливых регионах Российской Федерации, площади зернового сорго должны расширяться.

В научной статье [4] показано, что регулярное внесение в почву соломы зерновых и зернобобовых культур в процессе их уборки благоприятно сказывается на поддержании С-режима, обеспечивает накопление микробного, а также почвенного углерода, что влияет на повышение урожайности сельскохозяйственных культур, возделываемых в последующем на данном поле. Это следует из того, что в сухом веществе соломы зерновых культур в среднем содержится азота 0,5 %, фосфора 0,25 %, калия 0,8 %, углерода 35-40 % [5, 6, 7].

При внесении в почву измельченной соломы улучшается воздушный режим почвы, а также увеличивается на 25 мм запас влаги в метровом слое [8], снижается вымывание азота из верхнего пахотного слоя при весеннем снеготаянии [9].

Учеными доказано, что при заделке в почву 1 т растительных остатков в верхний почвенный слой возвращается до 9,9 кг азота, до 5,2 кг фосфора и до 16,3 кг калия. При этом, более высокое накопление питательных веществ в верхнем почвенном слое наблюдается при заделке растительных остатков той зерновой культуры, которая имеет более мощную корневую систему [10]. Следует отметить, что зерновое сорго имеет более мощную и глубоко проникающую в почву корневую систему, чем другие зерновые культуры, что оказывает влияние на ее засухоустойчивость.

Из отмеченного выше следует, что за счет внесения в верхний почвенный слой растительных остатков зернового сорго в процессе его уборки имеется высокая вероятность повышения плодородия почвы за счет накопления гумуса, улучшения структуры почвы за счет увеличения доли водопрочных агрегатов и снижения ее объемной массы, сохранения влаги за счет снижения ее испарения, защиты почвы от перегрева за счет образования мульчирующего слоя, который сглаживает колебания температуры, ускорения разложения органических веществ и минерализации питательных веществ за счет активизации микрофлоры, снижения водной и ветровой эрозии за счет укрепления верхнего слоя почвы остатками корней. При этом растительные остатки необходимо измельчать, равномерно

распределять по полю и заделывать в почву на глубину до 10-15 см. Все вышеуказанное в конечном счете окажет влияние на увеличение урожайности последующих сельскохозяйственных культур.

Для реализации положительного эффекта от заделки растительных остатков зернового сорго в верхний слой почвы после уборки рассмотрим некоторые применяемые в сельскохозяйственном производстве машины для измельчения растительных остатков. Среди таких машин можно отметить, например, катки-измельчители пожнивных остатков, используемые после уборки подсолнечника, кукурузы, на стерне и соломе озимых и яровых культур. КИПО-6Н (рисунок 1) и ИР «ДАСТЕР» (рисунок 2) [11].

Рисунок 1 – Каток-измельчитель пожнивных остатков КИПО-6Н
Figure 1 – KIPO-6N stubble shredder roller

Рисунок 2 – Каток-измельчитель пожнивных остатков ИР «ДАСТЕР»
Figure 2 – IR "Duster" stubble shredder roller

Для эксплуатации отмеченных выше катков-измельчителей требуется энергетическое средство – трактор соответствующего класса. При этом измельчение растительных остатков осуществляется машинно-тракторными агрегатами после уборки сельскохозяйственной культуры другим агрегатом – комбайном. Использование дополнительного агрегата при реализации данной технологии уборки зерновых культур с последующим измельчением растительных остатков, безусловно, скажется на суммарных трудовых, материальных и финансовых затратах.

Следует отметить, что выбор типа и конструктивных параметров измельчающего аппарата определяется многими факторами, например, физико-механическими и биологическими свойствами измельчаемой культуры, характеристиками почвы (твердость, плотность, влажность, гранулометрический состав) поля, на котором измельчаются остатки растений, рельефом поля. Так, из литературных источников известно, что усилие, необходимое для резания стеблей зерновых культур, равно 2-6 Н, работа резания 100-200 Дж/м^2, предел прочности при срезе 60-80 МПа [12].

В настоящее время основным способом уборки сорго является прямое комбайнирование зерноуборочными комбайнами различных марок. При этом уборку начинают при влажности зерна не более 20-25 %. Современные зерноуборочные комбайны могут комплектоваться измельчителем соломы, который измельчает и разбрасывает измельченную

солому по полю. Заделка измельченной соломы и половы осуществляется другими машинно-тракторными агрегатами. Применяются также технология высокого среза, при которой сначала обмолачиваются срезанные метелки, а затем срезается листостебельная масса на корм животным или силос, а также технология очеса метелок серийными очесывающими жатками [13]. Может применяться также способ уборки зернового сорго, разработанный в Волгоградском ГАУ (Ряднов А. И., Федорова О. А., Шарипов Р. В., Семченко А. В., Меченков В. В. Способ уборки зернового сорго: патент на изобретение RU 2798242 C1, 20.06.2023. Заявка № 2022134532 от 26.12.2022), с использованием соргоуборочного комбайна. Однако применяемый для реализации данного способа уборки зернового сорго соргоуборочный комбайн не измельчает обмолоченные растения и не заделывает их в почву.

Таким образом, заделка в верхний слой почвы растительных остатков зернового сорго после его уборки важна для повышения урожайности последующих сельскохозяйственных культур. При использовании существующих технологий уборки сорго необходимо вводить дополнительные технологические операции по измельчению растительных остатков и их заделке в почву, что потребует существенных дополнительных как материальных, так и финансовых затрат. В связи с этим, в настоящее время актуально усовершенствование существующих технологий и технических средств уборки зернового сорго, внедрение которых обеспечит послеуборочное измельчение растительных остатков и их заделку в верхний слой почвы одним агрегатом.

Цель работы – разработать технические и технологические мероприятия по послеуборочному измельчению растительных остатков зернового сорго и их заделки в верхний слой почвы соргоуборочным комбайном.

Объект исследования – растительные остатки зернового сорго сорта «Атаман» после обмолота их на корню инерционно-очесным способом усовершенствованным соргоуборочным комбайном конструкции Волгоградского ГАУ.

Материалы и методы. Материалы данной статьи базируются на обобщении научных работ, использование результатов которых в сельскохозяйственном производстве позволит повысить урожайность сельскохозяйственных культур за счет заделки измельченных растительных остатков убираемой сельскохозяйственной культуры в верхний слой почвы, и являются продолжением работ [14, 15] авторов статьи.

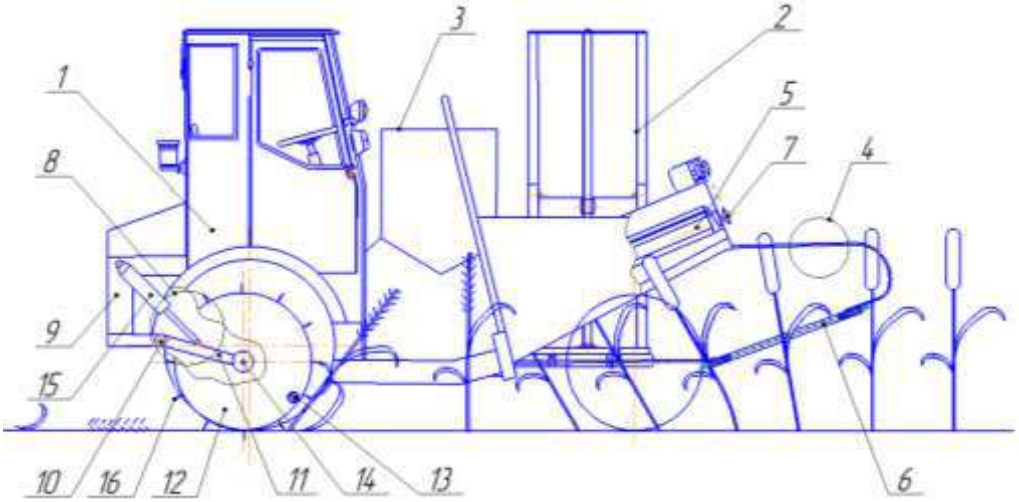
Исследования по оценке качества измельчения обмолоченных растений зернового сорго сорта «Атаман» проводились при его уборке на поле со светло-каштановой почвой. При этом, урожайность сорго по зерну составляла в среднем 1,76 т/га, а густота стояния растений перед уборкой равнялась 152,6 тыс./га.

Для достижения поставленной цели работы рассмотрена возможность использования предложенного в Волгоградском ГАУ способа уборки зернового сорго на основе разработанного соргоуборочного комбайна (Ряднов А. И., Шарипов Р. В., Семченко А. В. Комбайн для уборки зернового сорго: патент на изобретение RU 2707929 C1, 02.12.2019. Заявка № 2019107452 от 15.03.2019). Схема данного соргоуборочного комбайна представлена на рисунке 3. Следует отметить, что рассматриваемый соргоуборочный комбайн реализует инерционно-очесный способ обмолота метелочных культур, разработанный также в Волгоградском ГАУ.

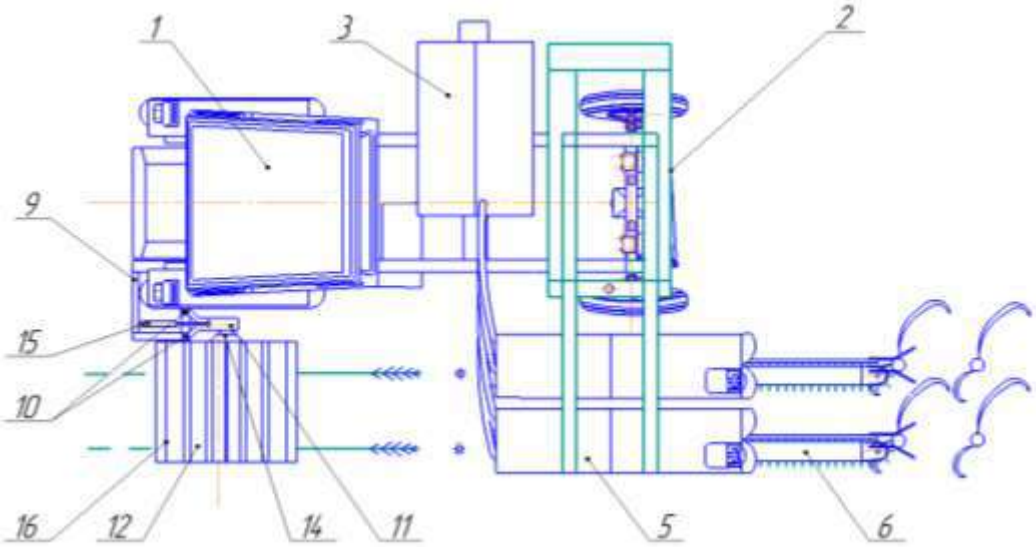
Комбайн для уборки зернового сорго базируется на самоходном шасси Т-16М – 1, включает навеску гидравлическую – 2, бункер для сбора зерна – 3, один или несколько модулей – 4, каждый из которых состоит из прямоточной выносной молотильной камеры – 5, нормализатора – 6 и синхронизирующей передачи – 7, устройство – 8, закрепленное на подрамнике – 9 на шарнирах – 10, обеспечивающее измельчение предварительно обмолоченных растений сорго и состоящее из рычага – 11, полого катка – 12 цилиндрической формы, оборудованного пробкой – 13 и закрепленного на ступице – 14 и гидроцилиндра – 15. По образующей катка – 12 размещены с равным шагом ножи – 16 с режущей кромкой, которая может быть изготовлена в виде зубьев.

Следует отметить, что базой комбайна может быть не только самоходное шасси, но и другое энергетическое средство, в том числе и трактор. Но при этом монтаж рабочего оборудования будет иным. Синхронизирующая передача – 7 может быть как механической, так гидромеханической, электромеханической и робототехнической, управляемой электроникой. Нормализатор – 6 также может быть различной конструкции: цепочно-планчатый, ленточный или шнековый. Каток – 12 не имеет привода, а его длина (высота цилиндра)

обеспечивает обработку полосы, соответствующей ширине захвата модулей – 4. От количества ножей – 16, установленных на катке – 12, зависит длина резки измельчаемых растений.



а)



б)

Рисунок 3 – Схема соргоуборочного комбайна: а) – вид сбоку; б) – вид сверху
Figure 3 – Diagram of a sorghum harvester: a) side view; b) top view

После выезда соргоуборочного комбайна на поле для уборки зернового сорго гидроцилиндром – 15 опускается каток – 12 до касания поверхности поля его ножами – 16. Гидрораспределитель гидросистемы энергетического средства – 1 устанавливают в «плавающее» положение. Затем в полый каток – 12 через его пробку – 13 заливают жидкость, например, воду, объем которой влияет на усилие резания растений при их измельчении и частичной заделки измельченных растений в поверхностный слой почвы.

Далее начинают обмолот зернового сорго. Для этого в зависимости от высоты растений устанавливают необходимую высоту установки модулей – 4, используя гидравлическую навеску – 2. При движении комбайна по полю нормализаторы – 6 захватывают растения зернового сорго и направляют их в прямоточную молотильную камеру – 5, частота вращения битеров которой синхронизируется со скоростью движения агрегата с помощью передачи – 7.

В молотильной камере – 5 осуществляется обмолот сорго. Зерно перемещается в бункер – 3. Обмолоченные части растений, выйдя из прямоточной молотильной камеры – 5, направляются к устройству – 8, цилиндрический каток – 12 которого, вращаясь на ступи-

це – 14 при движении комбайна, прижимает растения к поверхности поля и измельчает их режущими кромками ножей – 16 на фрагменты, длина которых соответствует шагу их установки на катке – 12. В результате измельченная масса равномерно распределяется по полю на полосе с шириной, равной ширине захвата комбайна и частично заделываются в почву.

Одновременно с измельчением обмолоченных растений сорго ведется борьба с сорняками за счет их подрезания ножами – 16 катка – 12. Кроме того, образованный мульчирующий слой обеспечивает сохранение влаги в почве.

Предложенные усовершенствования технологии уборки зернового сорго обеспечивают не только сбор зерна, но и эффективное использование растительных остатков для повышения плодородия почвы.

Результаты и обсуждение. С целью проверки качества измельчения растительных остатков зернового сорго и степени их заделки в почву изготовлено устройство 8 (рисунок 3) к соргоуборочному комбайну конструкции Волгоградского ГАУ.

Каток – 12 данного устройства изготовлен из металлической трубы Ø 820 мм с толщиной 8 мм, длинной 0,7 м. Две боковые стенки изготовлены из металлического листа толщиной 10 мм. На катке с равным шагом приварены 16 ножей (рисунок 4), которые изготовлены из полосы 150х5 мм. Масса катка равна 270 кг, а его внутренний объем – 0,35 м^3.

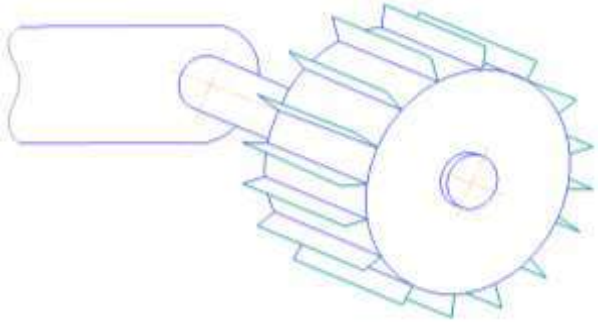


Рисунок 4 – Схема устройства для измельчения растительных остатков зернового сорго
Figure 4 – Diagram of a device for grinding grain sorghum plant residues

Диаметр трубы (820 мм) выбран исходя из возможности среза и измельчения устройством минимум трех растений в каждом ряду, при этом было учтено количество приваренных на трубе ножей. Длина катка (0,7 м) выбрана такой, чтобы устройство обеспечивало обработку двух рядов зернового сорго, посеянного с междурядьем 35 см. Учитывая необходимую глубину заделки измельченных растительных остатков в почву (10-15 см) выбрана ширина полосы для изготовления ножей, равная 150 мм. Материал полосы – высоколегированная сталь 60Г2. Такой материал полосы обеспечит высокий ресурс ножей и самозаточку их режущих кромок. Для экспериментальных исследований было изготовлено два варианта катка: с ровными лезвиями ножей и волнистыми с длиной волны 100 мм и высотой 30 мм. Выбранные толщины трубы и боковых стенок обеспечивают сохранение ее геометрической формы при выполнении технологической операции. Масса катка может изменяться от 270 кг (пустой каток) до 470 кг (при заполнении внутренней полости 200 л воды), что позволяет при его движении перерубать стебли зернового сорго и имеющихся на поле сорняков, заглубляться в почву до 10 см и присыпать измельченные растения почвой. С целью снижения металлоемкости конструкции катка возможно уменьшение толщины его стенок до достаточного уровня прочности. При этом компенсировать снижение массы металла катка возможно за счет увеличения степени заполнения внутреннего объема катка водой, что обеспечит необходимое усилие измельчение растений и заглубление ножей в почву.

Использование устройства измельчения растительных остатков в составе соргоуборочного комбайна позволяет снизить количество проходов агрегатов по полю, что уменьшает уплотнение почвы.

Результаты экспериментальных исследований заглубления ножей *h* с ровными и волнистыми лезвиями в почву в зависимости от массы катка *mк* при трех вариантах заполнения его водой: 1) 0 л, т. е. каток пустой, *mк* = 270 кг, 2) 100 л воды, *mк* = 370 кг и 3) 200 л воды, *mк* = 470 кг представлены на рисунке 5.

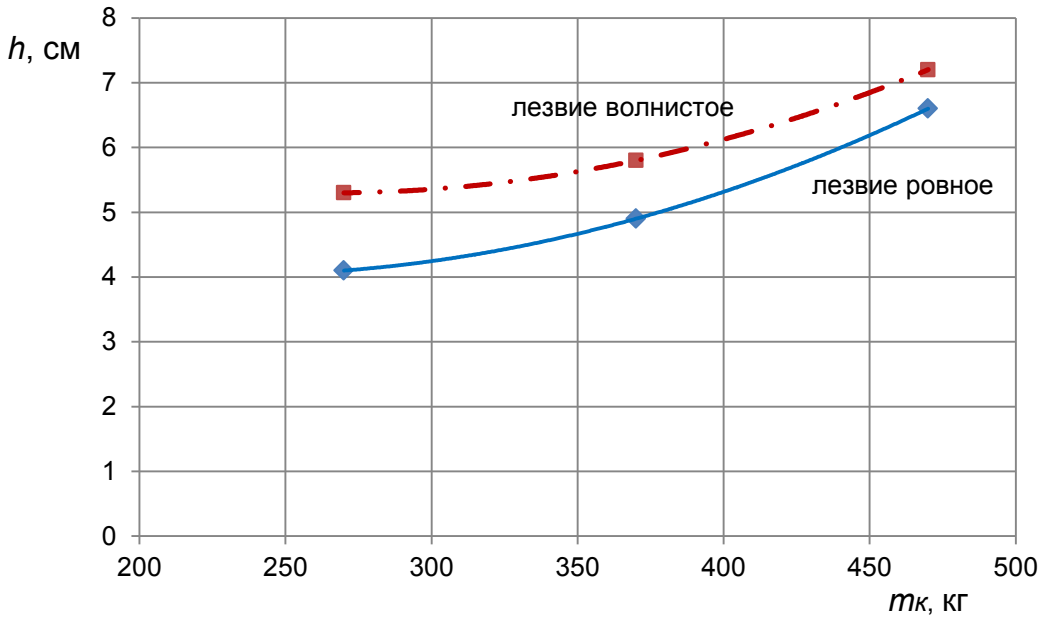


Рисунок 5 – Заглубление ножей катка в почву после измельчения растительных остатков зернового сорго
Figure 5 – Deepening the roller's knives into the soil after grinding the plant residues of grain sorghum

Экспериментальные исследования показали:

- заглубление ножей в почву соответствует заданным агротребованиям;
- ножи с волнистыми лезвиями углубляются в почву на большую глубину, чем ножи с ровными лезвиями;
- 82 % кусков измельченных стеблей имели длину от 150 мм до 180 мм;
- около 60 % кусков измельченных стеблей были полностью покрыты почвой.

Выводы. Из обзора научных исследований следует, что в засушливом климате Нижнего Поволжья измельчение растительных остатков сельскохозяйственных культур, в частности зернового сорго, при уборке, равномерное разбрасывание измельченной массы по полю по ширине захвата уборочного агрегата с ее заделкой в верхний слой почвы обеспечивает в последующие годы: повышение плодородия почвы за счет накопления гумуса; улучшение структуры почвы за счет увеличения доли водопрочных агрегатов и снижения ее объемной массы; сохранение влаги из-за снижения ее испарения; защиту почвы от перегрева в связи с образованием мульчирующего слоя, который сглаживает колебания температуры; ускорение разложения органических веществ и минерализации питательных веществ; снижение водной и ветровой эрозии за счет укрепления верхнего слоя почвы остатками корней. Экспериментальные исследования соргоуборочного комбайна с инерционно-очесным обмолотом растений метельчатых культур, оборудованного устройством измельчения растительных остатков, показали работоспособность конструкции, качественное измельчение стеблей зернового сорго, равномерное распределение измельченной массы по полосе прохода катка устройства и заделку большей ее части в верхний слой почвы.

Conclusions. The review of the scientific research shows that in the arid climate of the Lower Volga region, the crushing of plant residues of agricultural crops, in particular grain sorghum, during harvesting, the uniform spreading of the crushed mass across the field across the width of the harvesting unit with its incorporation into the top layer of soil ensures an increase in soil fertility in subsequent years due to the accumulation of humus; improving the soil structure by increasing the proportion of water-stable aggregates and reducing its bulk density; retaining moisture by reducing its evaporation; protecting the soil from overheating due to the formation of a mulch layer, which smooths out temperature fluctuations; accelerating the decomposition of organic matter and the mineralization of nutrients; reducing water and wind erosion by strengthening the topsoil with root residues. Experimental studies of a sorghum harvesting combine with inertial-stripping threshing of panicle crops, equipped with a device for crushing plant residues, demonstrated the operability of the design, high-quality crushing of grain sorghum stems, uniform distribution of the crushed mass along the passage of the device roller and the incorporation of most of it into the upper soil layer.

Библиографический список

1. Капустин С. И., Багринцева Н. А., Самойленко А. В., Галушко Н. А., Капустин А. С. Качество зеленой массы сорговых культур и однолетних кормовых трав в зависимости от сроков укоса. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2024. Т. 16. № 3. С. 27-36.

2. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Хозяйственно-ценные признаки коллекционных образцов сорго зернового. Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 2 (18). С. 46-52.

3. Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А., Лушпина О. А., Сухенко Н. Н., Игнатьева Н. Г. Питательность ценность зернового сорго. Фермер Поволжье. 2018. № 8. С. 56-58.

4 Русакова И. В. Микробиологические и экофизиологические параметры дерново-подзолистой почвы при длительном применении соломы и минеральных удобрений, их связь с урожайностью. Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 1. С. 153-162.

5. Савина О. В., Макаров В. А., Макарова О. В. и др. Органические удобрения как фактор повышения плодородия почвы и эффективности растениеводства. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 4 (44). С. 53-59.

6. Зайцев С. А. Влияние соломы как органического удобрения на плодородие почв. Молодежь XXI века: шаг в будущее: материалы XXIV Региональной науч.-практ. конференции. Благовещенск, 2023. Т. 3. С. 190-191.

7. Наими О. И. Солома как фактор повышения плодородия почв. Международный научный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 3. С. 28-32.

8. Зеленев А. В., Семинченко Е. В. Солома – важный фактор биологизации при возделывании зернового сорго на светло-каштановых почвах Волгоградской области. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 62-69.

9. Семинченко Е. В. Содержание и динамика поступления в почву основных элементов питания в растительных остатках и зерне полевых культур. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16. № 2. С. 253-270.

10. Пакина Е. Н., Зеленев А. В., Ляшко М. У., Терентьев В. М., Терентьева Т. С. Оценка эффективности применения соломы при возделывании зернового сорго. Известия НВ АУК. 2025. № 3 (81). С. 45-55.

11. Борисенко И. Б., Скрипкин Д. В., Мезникова М. В., Тимошенко В. В., Элбакян А. Ж. Катковый измельчитель пожнивных остатков высокостебельных сельскохозяйственных культур. Известия НВ АУК. 2022. № 2 (66). С. 329-339.

12. Потебня А. Н. Обоснование структурно-функциональной схемы агрегата для срезания и измельчения растений и модели оценки его работы. Научный журнал КубГАУ. 2023. № 190 (06). С. 81-91.

13. Бурьянов А. И., Бурьянов М. А., Червяков И. В., Ковтунов В. В. Совершенствование технологии уборки сорго. Зерновое хозяйство России. 2017. № 4. С. 45-48.

14. Ряднов А. И., Седов А. В., Курахтенков А. К. Факторы, влияющие на показатели использования сергоуборочных машин. Известия НВ АУК. 2023. № 1 (69). С. 448-456.

15. Ряднов А. И., Федоренко В. Ф., Федорова О. А., Мишуров Н. П., Давыдова С. А. Совершенствование технологии уборки веничного сорго. Инженерные технологии и системы. 2019. Т. 29. № 4. С. 635-651.

References

1. Kapustin S. I., Bagrintseva N. A., Samoilenko A. V., Galushko N. A., Kapustin A. S. Quality of green mass sorghum crops and annual forage grasses depending on the mowing time. Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev. 2024. V. 16. No 3. Pp. 27-36.

2. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Economic-valuable features of collection samples of grain sorghum. Tavrichesky Bulletin of Agrarian Science. 2019. No 2 (18). Pp. 46-52.

3. Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Lushpina O. A., Sukhenko N. N., Ignatieva N. G. Nutritive value of grain sorghum. Farmer of the Volga region. 2018. No 8. Pp. 56-58.

4. Rusakova I. V. Microbiological and Ecophysiological Parameters of Sod-Podzolic Soil under Long-Term Application of Straw and Mineral Fertilizers and Their Relationship to Yield. Agricultural Biology. 2020. V. 55. No 1. Pp. 153-162.

5. Savina O. V., Makarov V. A., Makarova O. V., et al. Organic fertilizers as a factor in increasing soil fertility and crop production efficiency. Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agro technological University. 2019. No 4 (44). Pp. 53-59.

6. Zaitsev S. A. The effect of straw as an organic fertilizer on soil fertility. Youth of the 21st Century: A Step into the Future: Materials of the XXIV Regional Scientific and Practical Conference. Blagoveshchensk, 2023. V. 3. Pp. 190-191.

7. Naimi O. I. Straw as a Factor in Increasing Soil Fertility. International Scientific Agricultural Journal. 2019. No 3. Pp. 28-32.

8. Zelenev A. V., Seminchenko E. V. Straw is an important factor of biologization in the cultivation of grain sorghum on light chestnut soils of the Volgograd region. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2018. No 3 (51). Pp. 62-69.

9. Seminchenko E. V. Content and dynamics of the main nutrients in plant residues and grain of field crops. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. V. 16. No 2. Pp. 253-270.

10. Pakina E. N., Zelenev A. V., Lyashko M. U., Terentyev V. M., Terentyeva T. S. Evaluation of the effectiveness of straw application in the cultivation of grain sorghum. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. 3 (81). Pp. 45-55.

11. Borisenko I. B., Skripkin D. V., M.V. Meznikova M. V., Timoshenko V. V., Elbakyan A. Zh. Roller shredder of stubble residues of tall-stemmed agricultural crops. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No 2 (66). Pp. 329-339.

12. Potebnya A. N. Substantiation of the structural and functional scheme of the unit for cutting and grinding plants and the model of its operation evaluation. KubSAU Scientific Journal. 2023. No 190 (06). Pp. 81-91.

13. Burianov A. I., Burianov M. A., Cherviakov I. V., Kovtunov V. V. Improvement of sorghum harvesting technology. Grain Economy of Russia. 2017. No 4. Pp. 45-48.

14. Ryadnov A. I., Sedov A. V., Kurakhtenkov A. K. Factors affecting the performance of sorghum harvesters. News of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2023. No 1 (69). Pp. 448-456.

15. Ryadnov A. I., Fedorenko V. F., Fedorova O. A., Mishurov N. P., Davydova S. A. Improvement of the technology of harvesting broom sorghum. Engineering Technologies and Systems. 2019. V. 29. No 4. Pp. 635-651.

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

Федорова Ольга Алексеевна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2615-1101, e-mail: foa_77@mail.ru

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

Лобачев Денис Романович, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: lobachev.denis2000@gmail.com

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

Fedorova Olga Alekseevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2615-1101, e-mail: foa_77@mail.ru

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

Lobachev Denis Romanovich, Postgraduate Student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: lobachev.denis2000@gmail.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-62

THE GRAIN HARVESTING TECHNOLOGICAL PROCESS MATHEMATICAL MODEL WITH TAKING INTO ACCOUNT THE EXTERNAL CONDITIONS PROBABILISTIC NATURE

[1]Smelik V. A., [2]Fomin S. D., [3]Zakharov A. M., [3]Perekopskiy A. N.

[1]Saint-Petersburg State Agrarian University
St. Petersburg, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[3]Institute of Agricultural Engineering and Environmental Problems of Agricultural Production – the branch of the Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM
St. Petersburg, Russian Federation

Corresponding author E-mail: smelik_va@mail.ru

Received 10.04.2026 Submitted 25.05.2026

Summary

The article presents the results of research of a mathematical model for managing the technological process of harvesting grain fodder crops, taking into account the probabilities of weather conditions, based on the use of Markov chains.

Abstract

Introduction. The climatic features of Russia's regions with excessive moisture lead to increased grain moisture during harvesting in the phase of full maturity. This results in significant costs for post-harvest processing of fodder grain. As a result, there is a need to explore alternative technologies that can reduce dependence on expensive energy resources and improve the nutritional value of feed. This can be achieved through three technologies: harvesting grain silage, harvesting grain crops without threshing, and harvesting crushed preserved grain. The purpose of the study is to develop a mathematical model for managing the technological process of harvesting grain for fodder crops based on the use of Markov chains. **Materials and methods.** The research focuses on the technologies of harvesting and post-harvest processing of grain for fodder purposes, depending on the vegetation phase of the plants and the prevailing weather conditions. The construction of a probabilistic model for harvesting grain for fodder crops is based on the well-known techniques of regular Markov chains. There are six return states of the system that characterize the ripeness of the grain, ranging from milk ripeness to full ripeness. The six absorbing states of the system include options for harvesting technologies, from grain silage to obtaining seeds and acceptable losses. The transition of the system from one state to another depends on the probability of favorable weather conditions, and this probability is used to express the probabilities of harvesting grains using a specific technology at a specific stage of maturity. **Results and conclusions.** The impact of external

weather conditions on the performance of technological operations for harvesting grain crops has been studied for the entire range of possible probabilities of favorable and unfavorable meteorological factors, from 0 to 1, with a step of 0.1. It was determined that with a probability of unfavorable weather conditions of 0.6, crops will be harvested for grain from 56.8 % of the total area; ears without threshing – 19.7 %, for flattened canned grain – 7.7 %; forage with drying and grinding – 8.1 %, for seeds – 3.1 %; losses will amount to 4.6 %. The proposed mathematical method for studying the technological features of harvesting using a regular Markov chain helps to choose the best strategy and tactics for carrying out harvesting tasks, taking into account the probabilistic nature of weather conditions. When planning logistics and resource management for harvesting, it is possible to make management decisions based on forecasts of the distribution of areas by ripeness phases for several days or weeks ahead. This allows for the optimization of the use of harvesting machines, vehicles, drying facilities, and labor.

Keywords: *grain harvesting, grain silage, crushed grain, Markov chain, grain harvesting processes, grain maturity phases.*

Citation. Smelik V. A., Fomin S. D., Zakharov A. M., Perekopskiy A. N. The grain harvesting technological process mathematical model with taking into account the external conditions probabilistic nature. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 560-570 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-62.
Authors' contribution. All the authors of this study were directly involved in the planning, execution or analysis of this study. All the authors of this article have read and approved the submitted final version.
Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.171:631.354:519.863

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТНОГО ХАРАКТЕРА ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ

[1]**Смелик В. А.,** *доктор технических наук*
[2]**Фомин С. Д.,** *доктор технических наук*
[3]**Захаров А. М.,** *кандидат технических наук*
[3]**Перекопский А. Н.,** *кандидат технических наук*

[1]Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
[2]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[3]Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Актуальность. Климатические особенности регионов избыточного увлажнения в России обуславливают повышенную влажность зерна при уборке в фазе полной спелости, что влечет за собой значительные затраты на послеуборочную обработку. В связи с этим особую актуальность приобретает поиск альтернативных технологий, позволяющих снизить зависимость от дорогостоящих энергоносителей и повысить питательную ценность кормов. Такой подход может быть реализован в трех технологиях заготовки зерносенажа, уборки зерновых культур очесом без обмолота и заготовки плющеного консервированного зерна. Цель исследования – разработать математическую модель управления технологическим процессом уборки зерновых фуражных культур на основе использования марковских цепей. **Материалы и методы.** В качестве объекта исследований приняты технологии уборки и послеуборочной подготовки зерна фуражного назначения в зависимости от фазы вегетации растений и складывающихся погодных условий. Разработанная вероятностная модель процесса уборки фуражных зерновых базируется на классическом аппарате регулярных марковских цепей. В рамках модели выделено шесть возвратных состояний, соответствующих этапам созревания культуры (молочная, поздняя молочная, тестообразная, восковая, полная восковая и полная спелость), а также шесть поглощающих состояний, отражающих различные технологические способы уборки – от заготовки зерносенажа до получения семян. Вероятность перехода между состояниями определяется благоприятными погодными условиями, которые влияют на выбор конкретной технологии в зависимости от фазы спелости. **Результаты и выводы.** Влияние внешних погодных условий на выполнение технологических операций по уборке зерновых культур исследовано для всего диапазона от 0 до 1 возможных вероятностей благоприятных и неблагоприятных метеорологических факторов с шагом 0,1. Определено, что при значении вероятности неблагоприятных условий, равном 0,6, уборка зерновых культур будет выполнена на зерносенаж с 56,8 % общей площади; очёсом колосьев без обмолота – 19,7 %, на плющеное консервированное зерно – 7,7 %; на фураж с сушкой и измельчением – 8,1 %, на семена – 3,1 %; потери составят 4,6 %. Предлагаемый математический метод для исследования технологических особенностей уборки с использованием регулярной марковской цепи способствует выбору наилучшей стратегии и тактики выполнения уборочных

задач, с учетом вероятностного характера погодных условий. При планировании логистики и управления ресурсами для уборки урожая можно принимать управленческие решения на основе прогнозов распределения площадей по фазам спелости на несколько дней или недель вперёд. Это позволяет оптимизировать использование уборочных комбайнов, транспортных средств, сушильных мощностей и рабочей силы.

Ключевые слова: *уборка зерновых культур, зерносенаж, плющеное зерно, марковская цепь, технологические процессы уборки зерна, фазы спелости зерна.*

Цитирование. Смелик В. А., Фомин С. Д., Захаров А. М., Перекопский А. Н. Математическая модель технологического процесса уборки зерновых культур с учетом вероятностного характера внешних условий. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 560-570. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-62.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В регионах с климатом повышенной влажности, к числу которых относится Северо-Западный федеральный округ, в себестоимости производства собственного корма для животных, значительную долю занимают энергозатраты на уборку и послеуборочную обработку фуражного зерна. Климатические особенности региона избыточного увлажнения обуславливают повышенную влажность зерна при уборке в фазе полной спелости, что влечет за собой значительные затраты на послеуборочную обработку. Согласно анализируемым данным [1, 2, 3], сушка 1 тонны высоковлажного зерна требует до 25 литров жидкого топлива, а последующее дробление – до 20 кВт×ч электроэнергии. В связи с этим особую актуальность приобретает поиск альтернативных технологий, позволяющих снизить зависимость от дорогостоящих энергоносителей и повысить питательную ценность кормов. Традиционная технология уборки фуражного зерна в фазе полной спелости сопряжена с рядом негативных факторов. Высокая влажность зерна (характерная для многих регионов России) делает процесс сушки не только затратным, но и технически сложным [4]. Более того, перестой хлебов на корню ведет к потерям от осыпания и снижает качество белка.

В противовес этому рассматриваются технологии заготовки кормов в более ранние фазы спелости – молочной, тестообразной и восковой (влажность 35-55 %). Смещение сроков уборки части площадей на более ранний период позволяет снизить пиковую нагрузку на зерноуборочный парк в период уборки продовольственного и семенного зерна. Это способствует сокращению общих сроков уборочной кампании и минимизации потерь от перестоя. Данный подход может быть реализован в трех основных вариациях.

1. Технология производства зерносенажа. Данный подход позволяет исключить дорогостоящую сушку, сохраняя высокую влажность корма в анаэробных условиях. Ключевым преимуществом является повышенная питательность получаемого корма и использование всей вегетативной части растений. Содержание белка в таком сырье высокое, так как уборка производится в более ранние фазы, когда вегетативная масса еще не огрубела и богата протеином [2].

2. Технология уборки очесом без обмолота. Данный метод представляет наибольший интерес с точки зрения ресурсосбережения. Суть технологии заключается в уборке «очесом» необмолоченного вороха, включающего как зерно ранних фаз спелости, так и измельченные колосья, и часть соломы. Результаты исследований подтверждают высокую рентабельность уборки очесом. Отказ от сепарации вороха приводит к увеличению выхода кормового сырья на 20-30 % за счет включения незерновой части (полова, частицы стеблей), которая в традиционной технологии теряется. Анализ [5] показывает, что себестоимость уборки очесом без обмолота и разделения вороха в 2,65 раза ниже традиционной уборки.

3. Технология заготовки плющеного зерна. Она предполагает скашивание, обмолот, плющение зерна, внесение консерванта и закладку на хранение. На практике существует ряд организационно-технических трудностей: сложность обмолота влажной зерновой массы, необходимость высокоточного внесения консервантов и жесткие временные рамки закладки на хранение [6, 7, 8].

Сдерживающими факторами и технологическими рисками применения технологий являются сжатые агротехнические сроки и лимитированные сроки хранения сырья до послеуборочной обработки. Уборка в фазах молочной и тестообразной спелости имеет узкое

временное окно, которое может быть еще более сокращено неблагоприятными погодными условиями, что требует высокой организации труда. Необмолоченный и обмолоченный ворох ранних фаз спелости не обладает лёжкостью как сухое зерно.

Проведенный анализ технологий позволяет сделать вывод о перспективности технологий уборки зерновых в ранние фазы спелости для условий Северо-Западного региона. Технологии позволяют комплексно решать проблему энергозатрат – отказ от сушки и упрощение уборочного процесса дают экономический эффект. Реализация предлагаемого подхода позволит реализовать потенциал ранней уборки, снизить потери зерна и повысить эффективность кормопроизводства в зонах повышенного увлажнения и рискованного земледелия. Происходит также уменьшение нагрузки на парк зерноуборочных комбайнов в пиковый период уборки продовольственного и семенного зерна.

В связи с этим актуальным направлением является поиск и обоснование технологий, позволяющих не только снизить затраты на сушку, но и увеличить выход питательных веществ с единицы площади за счет уборки фуражного зерна в разные календарные сроки. В источнике [3, с. 398] отмечается, что зерносенаж из ячменя и тритикале имеет питательную ценность до 4945 к. ед./га, убранное зерно на плющение и консервирование содержит 3434 к. ед./га, а фуражное зерно на сушку и дробление содержит 2156 к. ед./га.

В рамках данной статьи представляется возможным разработать математическую модель управления технологическим процессом уборки зерновых культур с учетом складывающихся погодных условий в среднесрочной перспективе.

Можно взять за основу классическую марковскую цепь с тремя состояниями спелости, добавив четвертое состояние для убранной культуры. Важно подчеркнуть, что переходы между состояниями зависят от случайных факторов (погода, агротехника), что делает такой подход уместным. Практическая ценность подхода состоит в том, чтобы рассчитать вероятности своевременной уборки на каждой стадии и минимизировать потери. Нужно объяснить, как строится матрица переходов, как оцениваются вероятности и какие решения можно принимать на основе модели [9]. Это математическая модель для систем с «памятью», равной нулю, где будущие состояния определяются только текущим состоянием, что значительно упрощает анализ и прогнозирование процессов.

В статье Назаревич С. А. представлена концепция применения марковских цепей для анализа состояния производственных процессов при возникновении различных влияющих факторов. Разработаны показатели, характеризующие процесс перехода из одного состояния процесса в другое, с применением условных вероятностей для осуществления данного перехода. Составленный перечень показателей для оценки состояния организационной системы с «применением единичных показателей, характеризует управляемость процесса через измерение количества успешных решений для понимания уровня потенциала структурной единицы и выяснения уровня качества, необходимого для интерпретации момента перехода из одного состояния процесса в другой» [10, с. 37].

В другой статье Назаревич С. А. рассматривается такой вариант прогнозирования как применение марковских цепей для расчета вероятности распределения изделий в партии по операциям технологического процесса. «Рассмотрены состояния технологического процесса типового характера с указанием вероятностей присущих типовым состояниям процессов в производственных системах. Разработанный чек-лист для партии изделий с указанием последующих действий в соответствии с состоянием единицы партии определяет возможность возращения изделий или перехода к следующим операциям внутри производственной системы» [11, с. 67].

Обоснование применения марковских цепей для решения вероятностных инженерных задач, связанных с уборкой урожая, основано на их способности моделировать процесс случайных переходов между состояниями с учетом вероятностных характеристик. Процесс уборки урожая можно представить как последовательность состояний (например, «убрано», «частично убрано»), между которыми происходят случайные переходы. Цепи Маркова позволяют формализовать такие переходы, предполагая, что вероятность следующего состояния зависит только от текущего, а не от всех предыдущих. В практике уборки урожая вероятность перехода в следующее состояние можно аппроксимировать с помощью данных о текущем состоянии (например, качестве уборки, степени засоренности) без необходимости учитывать всю предыдущую историю. Для оценки и оптимизации стратегии уборки марковские цепи позволяют определить вероятность наступления различных состояний в будущем, что важно для планирования технологических операций.

Использование марковских цепей оправдано их способностью моделировать случайные переходы в системе с памятью, ограниченной текущим состоянием, что соответствует реалиям процессов уборки урожая [12, 13, 14]. Это обеспечивает как теоретическую обоснованность, так и практическую эффективность при решении задач оценки и оптимизации этих процессов [15, 16].

Цель исследования – разработать математическую модель управления технологическим процессом уборки зерновых фуражных культур на основе использования марковских цепей.

Материалы и методы. В качестве объекта исследований приняты технологии уборки и послеуборочной подготовки зерна фуражного назначения в зависимости от фазы вегетации и с учетом вероятностного характера внешних условий.

«Рассматриваемые варианты уборки фуражных посевов зерновых культур в зависимости от фазы спелости следующие» [16] (рисунок 1):

- зерносенаж, получаемый из посевов зерновых фуражных культур молочной (0), поздней молочной (1) и тестообразной (2) фаз спелости;
- очес колосьев безобмолотным способом, получаемый из посевов поздней молочной (1), тестообразной (2) и восковой (3) фаз спелости;
- плющеное консервированное зерно, получаемое из посевов тестообразной (2) и восковой (3) фаз спелости;
- зерно с сушкой и измельчением, получаемое из посевов восковой (3) и полной восковой (4) фаз спелости;
- семенное зерно, получаемое из посевов полной (5) спелости.

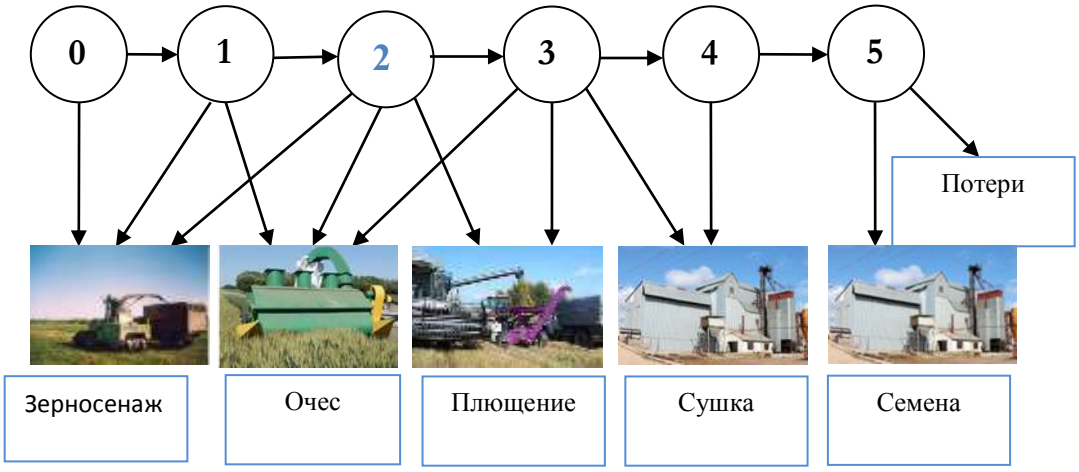


Рисунок 1 – Схема вероятностной модели уборки зерновых культур
Figure 1 – Diagram of the harvesting grain crops probabilistic model

Построение вероятностной модели уборки на основе марковских цепей осуществляем по известным методикам [3, 9, 15]. Поглощающими состояниями системы примем варианты технологии уборки от заготовки зерносенажа до получения семян и допустимых потерь. Обозначим вероятность P_1 как переход состояния фаз вегетации в следующую фазу, а $P_{2...12}$ – вероятность применения технологии в определенную фазу развития растений.

Минимальное значение поискового пространства площади уборки культуры по конкретной технологии может быть принято исходя из различных управленческих решений или задано, например, как в нашем случае – это половина максимально возможного значения.

Результаты исследований. Используя марковские цепи и метод декомпозиции составим совокупность матриц (рисунок 2): «Q – матрицы вероятностей; R – матрицы перехода; 0 – нулевой матрицы; E – единичной матрицы» [3] по разработанной методике [15, 16].

$$\left[\begin{array}{cccccc|cccccc}
0 & P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & P_1 & 0 & 0 & 0 & P_3 & P_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & P_1 & 0 & 0 & P_4 & P_6 & P_8 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & P_1 & 0 & 0 & P_7 & P_9 & P_{10} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_1 & 0 & 0 & 0 & P_{11} & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{12} & P_1 \\
\hline
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
\end{array}\right] = \left[\begin{array}{c|c} Q & R \\ \hline 0 & E \end{array}\right]$$

Рисунок 2 – Общая совокупность исследуемых матриц
Figure 2 – The investigated matrices total set

Решениями представленной матрицы с использованием известного уравнения Колмогорова-Чепмена будут следующие показатели марковской цепи:

- количество показателей, находящихся в состоянии:

$$N = (E - Q)^{-1}. \quad (1)$$

- математическое ожидание длительности пребывания зерновой культуры в каждом из состояний:

$$M = N \times 1. \quad (2)$$

- вероятность перехода в поглощающее состояние:

$$B = N \times R. \quad (3)$$

Выражения (1)–(3) задают матричные операции, интерпретируемые в контексте уборочного процесса следующим образом. Принимая суточную выработку зерна за стандартную порцию, уравнение (1) задает стационарное распределение этих порций по всем возможным состояниям системы до момента их завершения в поглощающем состоянии.

Вектор-столбец B содержит показатели вероятностей переходов из всех нефинальных состояний в поглощающее. Для реализации расчетов по формулам (1)–(3) оптимально подходит система MathCAD, позволяющая оперировать матричными выражениями.

При значении параметра P = 1,0 расчетные данные о вероятностях переходов в поглощающее состояние проиллюстрированы на рисунке 3. Согласно матрице B, переход в состояние «потери» из любого иного состояния происходит с вероятностью 1,0. Следовательно, вероятность итогового попадания зерна в категорию «потери» равна единице, что означает полную утрату собранного урожая.

$$\mathrm{B} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Рисунок 3 – Результаты расчета вероятностей перехода в поглощающее состояние при P = 1,0
Figure 3 – Results of calculating the probabilities of transition to the absorbing state at P = 1.0

В благоприятных погодных условиях (P = 0,0) вероятность перехода в поглощающее состояние представлены на рисунке 4. Согласно матрице **B**, порции зерна не переходят в поглощающие состояния, начиная от «очеса» и заканчивая «семенами». С вероятностью 1,0 все они оказываются в состоянии «зерносенаж», что означает: в данном случае всё зерно убирается в фазе молочной спелости на зерносенаж.

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.333 & 0.333 & 0.333 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.333 & 0.333 & 0.333 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 4 – Результаты расчета вероятностей перехода в поглощающее состояние при P = 0,0
Figure 4 – Results of calculating the probabilities of transition to the absorbing state at P = 0.0

Известно [16, с. 56], что вероятность благоприятных погодных условий в период уборочных работ варьируется в довольно широком диапазоне. Причем для каждого из месяцев этого периода средний показатель такой вероятности может быть принят равным 0,6. Результаты расчетов вероятностей перехода в новое поглощающее состояние в этом случае будут следующими (рисунок 5).

$$B = \begin{pmatrix} 0.568 & 0.197 & 0.077 & 0.081 & 0.031 & 0.047 \\ 0.28 & 0.328 & 0.128 & 0.134 & 0.052 & 0.078 \\ 0.133 & 0.213 & 0.213 & 0.224 & 0.086 & 0.13 \\ 0 & 0.133 & 0.133 & 0.373 & 0.144 & 0.216 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.24 & 0.36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \end{pmatrix}$$

Рисунок 5 – Результаты расчета вероятностей перехода в поглощающее состояние при P = 0,6
Figure 5 – Results of calculating the probabilities of transition to the absorbing state at P = 0.6

С целью определения степени воздействия погодных факторов на эффективность уборочной кампании были проведены расчеты. Вероятность условий варьировалась от 0 до 1,0 с шагом 0,1 (таблица). «Высокая повторяемость неблагоприятных условий в Северо-Западном регионе РФ обуславливает рост вероятности того, что уборка и послеуборочная доработка будут проводиться для зерна повышенной влажности» [3, 16, 17].

Для рассмотренного примера при вероятности неблагоприятных погодных условий P = 0,6 (таблица) зерновые фуражные культуры будут убраны: на зерносенаж – 56,8 %; очёсом колосьев без обмолота – 19,7 %, на плющение – 7,7 %; на сушку с измельчением – 8,1 %, на семена – 3,1 %; потери составят 4,6 %.

Убранное по разным технологиям зерно имеет различную питательную ценность, поэтому для получения максимума питательных веществ необходимо выбрать оптимальный объём заготовки кормов в различных погодных условиях [18, 19, 20, 21]. Для решения данной задачи создана вычислительная система на базе математической модели, обеспечивающая расчет рациональных площадей уборки с привязкой к вероятности различных погодных сценариев.

Таблица – Вероятность сбора урожая по погодным условиям
Table – The harvesting grain crops probability under the unfavorable weather conditions

Вероятность неблагоприятных погодных условий / The likelihood of adverse weather conditions	Технология уборки зерновых культур, % / Technology of harvesting grain crops, %					Потери урожая, % / Crop losses, %
	зерносенаж / grain silage	очёс колосьев / ear-splitting	плющеное зерно / flattened grain	фураж сушкой / fodder drying	семена / seeds	
0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,1	94,8	4,2	0,5	0,5	0,0	0,0
0,2	89,1	9,3	1,1	0,5	0,0	0,0
0,3	82,7	13,3	2,7	1,2	0,1	0,0
0,4	75,2	16,5	4,5	2,8	1,0	0,0
0,5	66,7	18,8	6,3	5,2	1,6	1,4
0,6	56,8	19,7	7,7	8,1	3,1	4,6
0,7	45,0	19,0	8,3	10,6	5,0	12,0
0,8	32,3	15,7	7,7	11,6	6,5	26,2
0,9	17,2	9,6	5,2	9,0	5,9	53,1
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0

Математическая модель разработана в виде задачи математического программирования и реализована в системе Excel (рисунок 6).

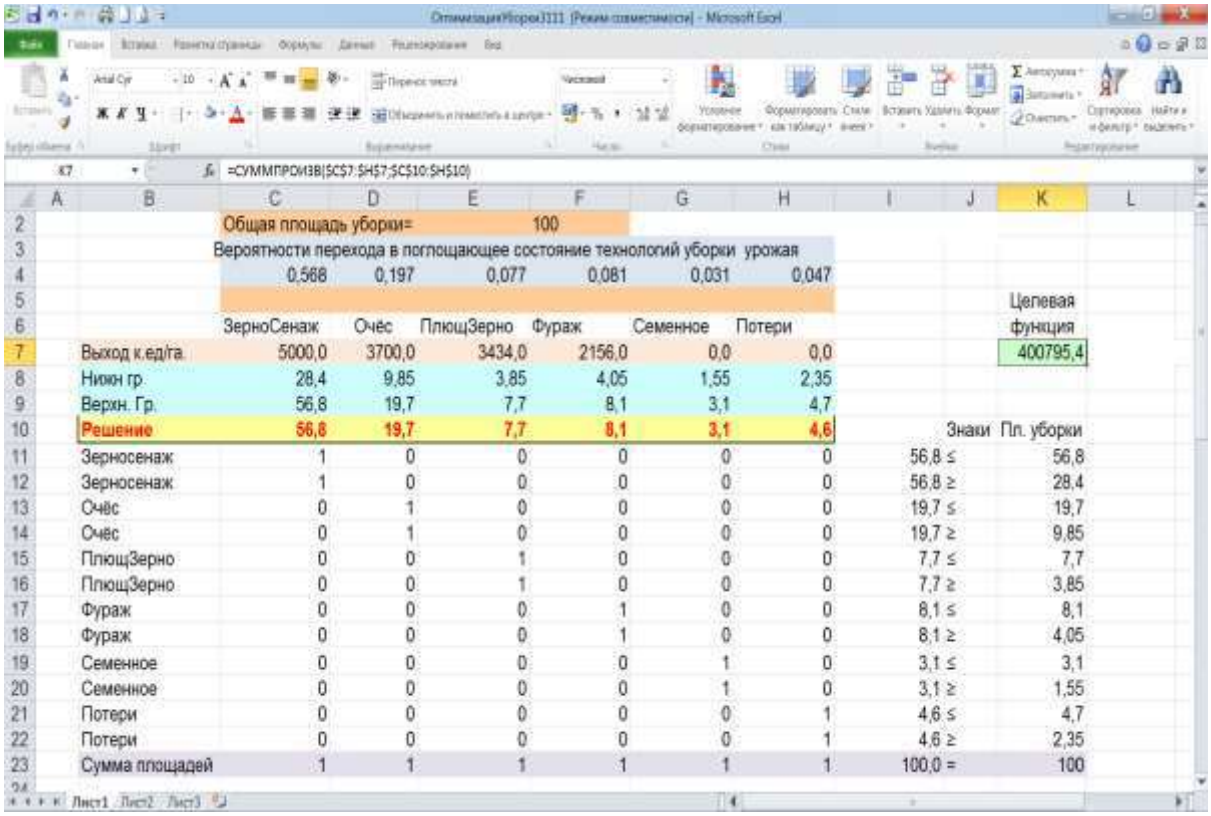


Рисунок 6 – Фрагмент программы определения рациональных площадей уборки зерновых культур при P = 0,6
Figure 6 – Fragment of the program for determining the rational areas for harvesting grain crops at P = 0.6

Целевой функцией в данном случае является получение максимального урожая (в кормовых единицах) со 100 % уборочной площади. В представленном примере при P = 0,6 урожай составит 400,8 т к. ед. Суммарный сбор питательных веществ в зависимости от погодных условий представлен на рисунке 7.

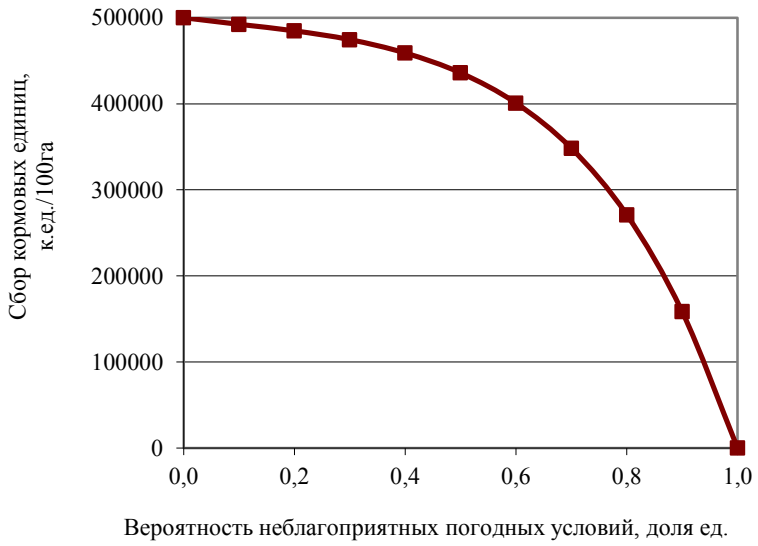


Рисунок 7 – Суммарный сбор питательных веществ в зависимости от погодных условий
Figure 7 – Total nutrient collection depending on weather conditions

Так, при благоприятных погодных условиях сбор кормовых единиц выгодно осуществлять, применяя технологию заготовки зерносенажа (до 5 т к. ед./га). В работе [3] установлено, что «средние показатели благоприятных погодных условий равны 0,6 (июль), 0,55 (август) и 0,4 (сентябрь). Анализ сценариев с учетом варьирования этих вероятностей и сроков уборки кормов в Ленинградской области свидетельствует, что при 15-дневном периоде уборки количество таких дней в среднем составляет 10 в августе и 7 в сентябре» [3, с. 398].

Необходимо принять во внимание и получение необходимого объема семенного зерна, в разработанной математической модели это возможно с помощью «жестко» заданного минимально необходимого объема.

Выводы. Для анализа технологических аспектов уборочной кампании был разработан математический метод, базирующийся на применении регулярной марковской цепи. Разработанная математическая модель для исследования технологических особенностей уборки помогает находить наилучшие стратегии выполнения технологического процесса уборки зерновых культур с учетом вероятностного характера внешних условий.

Предложено использование пяти технологических схем для регионов повышенного увлажнения для заготовки: зерносенажа до 60 % площадей; корма, полученного очесом колосьев ранних фаз спелости безобмолотным способом до 20 %; фуражного зерна с плющением и консервированием – до 10 %; фуражного зерна с сушкой и последующим дроблением – до 10 % и семенного зерна.

При планировании логистики и управления ресурсами для уборки урожая можно принимать управленческие решения на основе прогнозов распределения площадей по фазам спелости на несколько дней или недель вперёд. Это позволяет оптимизировать использование кормо- и зерноуборочных комбайнов, транспортных средств, сушильных мощностей и рабочей силы.

Conclusions. A mathematical method based on the application of a regular Markov chain has been developed to analyze the technological aspects of the harvesting campaign. This approach allows for the selection of rational harvesting strategies based on the available technologies and the probabilistic risks associated with adverse weather conditions.

It is proposed to use five technological schemes for regions with high moisture content: grain silage up to 60 % of the area; feed obtained by shearing the ears of early phases of ripeness using a non-threshing method up to 20 % of the area; fodder grain with crushing and preservation up to 10 % of the area; fodder grain with drying and crushing up to 10 % of the area; and seed grain.

When planning logistics and resource management for harvesting, it is possible to make management decisions based on forecasts of the distribution of areas by phase of ripeness for several days or weeks in advance. This allows for the optimization of the use of harvesters, vehicles, grain dryers, and labor.

Библиографический список

1. Маклахов А. В., Симонов Г. А., Приятелев В. В., Марценюк Е. А. Перспективы развития производства сельскохозяйственной продукции в АПК Вологодской области. АгроЭкоИнженерия. 2023. № 4 (117). С. 151-163.
2. Тимофеев М. В., Малков Н. Г., Демидова А. И., Чухина О. В. Анализ технико-технологических решений производства зерносенажа в условиях Северо-Западного региона. АгроЭкоИнженерия. 2022. № 1 (110). С. 120-133.
3. Валге А. М. Вероятностная модель уборки зерновых культур в Северо-Западном регионе. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 4. С. 5-6.
4. Дианов Л. В., Смелик В. А., Ширяев А. С. Механизация сушки урожая зерновых и кормовых культур. Ярославль: Ярославская государственная сельскохозяйственная академия. 2005. 150 с.
5. Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Рудой Д. В. Экономическое обоснование уборки зерновых культур ранних фаз спелости очесом и приготовления корма из необмолоченного вороха. Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 01. С. 128-138.
6. Смелик В. А., Фомин С. Д., Захаров А. М., Перекопский А. Н. Оценки технологической надежности машин для плющения и консервирования органического фуражного зерна. Известия НВ АУК. 2025. № 4 (82). С. 482-492.
7. Сысуев В. А., Савиных П. А., Казаков В. А., Сычугов Ю. В. Исследования и сравнительные испытания плющилки зерна с питающим устройством. Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32. № 2. С. 207-221.
8. Zhuzhin M. S., Kuchin N. N. Device for batching of free-flowing preservatives for processing of feed grains when flattening. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Voronezh, 2021. Art. 022056.
9. Раскин Л. Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. М.: Сов. Радио, 1976. 344 с.
10. Назаревич С. А., Антохина Ю. А., Фролова Е. А., Ястребов А. П., Казаков М. В. Марковские цепи для анализа уровня качества процессов организационных систем. Качество и жизнь. 2023. № 4 (40). С. 37-43.
11. Назаревич С. А., Меркулова А. Ю. Марковские цепи для решения проблем управления технологическим процессом в производственной системе. Системный анализ и логистика. 2023. № 1 (35). С. 67-73.
12. Morozov V. V., Bogdanov K. A., Smelik V. A., Volkhonov M. S., Kukhar V. S. Rationale for the design and technological parameters of the extruder for the production of sapropel and grain feed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 699 (1). Art. 012062.
13. Кузнецов Н. Н., Шушков Р. А., Вершинин В. Н. Имитационное моделирование работы технологической линии послеуборочной обработки семенного зерна. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 57. С. 235-240.
14. Мирошниченко Ю. А., Гамаюнов П. П., Фомин С. Д. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса. Известия НВ АУК. 2025. № 2 (80). С. 465-471.
15. Керимов М. А., Валге А. М. Оптимизация и принятие решений в агроинженерии. М.: КолосС, 2021. 502 с.
16. Кузовников М. М. Повышение эффективности уборки и послеуборочной доработки зерновых культур в условиях Северо-Западного региона РФ путем совершенствования технологических процессов и технических средств: диссертация. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2010. 134 с.
17. Могильницкий В. М., Гудков Д. А. О целесообразности производства плющенного фуражного зерна в Северо-Западном регионе. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2002. № 73. С. 165-169.
18. Костычев К. В. Эффективность комбинированной электроимпульсной и ультразвуковой обработки фуражного зерна: повышение переваримости и снижение антипитательных веществ. Известия НВ АУК. 2025. № 3 (81). С. 529-537.
19. Асманкин Е. М., Кукаев Х. С., Ушаков Ю. А. и др. Форсированная технология переработки как реализация метода энергонасыщенного воздействия на зерновую массу. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 6 (104). С. 154-161.
20. Смелик В. А., Дианов Л. В., Маслов М. М. И что бы были вкусными корма: хорошие корма – залог успеха животноводства. Золотая Нива. 2004. № 4. С. 6-9.
21. Савиных П. А., Турубанов Н. В. Технико-экономическая оценка применяемых технологий и технических средств при приготовлении сбалансированных комбикормов в условиях Евро-Северо-Востока России. Вестник НГИЭИ. 2024. № 5 (156). С. 46-58.

References

1. Maklakhov A. V., Simonov G. A., Priyatelev V. V., and Marzenyuk E. A. Prospects for the Development of Agricultural Production in the Agro-Industrial Complex of the Vologda Region. AgroEcoEngineering. 2023. No 4 (117). Pp. 151-163.
2. Timofeev M. V., Malkov N. G., Demidova A. I., Chukhina O. V. Analysis of technical and technological solutions for the production of grain silage in the conditions of the North-Western region. AgroEcoEngineering. 2022. No 1 (110). Pp. 120-133.
3. Valge A. M. Probabilistic model of grain harvesting in the North-Western region. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2012. No 4. Pp. 5-6.
4. Dianov L. V., Smelik V. A., Shiryayev A. S. Mechanization of drying grain and fodder crops. Yaroslavl: Yaroslavl State Agricultural Academy. 2005. 150 p.

5. Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Rudoy D. V. Economic justification of harvesting grain crops of early phases of ripeness by threshing and preparation of fodder from unthreshed heap. Agrarian Bulletin of the Urals. 2024. V. 24. No 01. Pp. 128-138.

6. Smelik V. A., Fomin S. D., Zakharov A. M., and Perekopsky A. N. Estimating the Technological Reliability of Machines for Ploughing and Preserving Organic Fodder Grain. Izvestiya NVAUK. 2025. No 4 (82). Pp. 482-492.

7. Sysuev V. A., Savinykh P. A., Kazakov V. A., Sychugov Yu. V. Research and Comparative Tests of a Grain Flatter with a Feeding Device. Engineering Technologies and Systems. 2022. V. 32. No 2. Pp. 207-221.

8.Zhuzhin M. S., Kuchin N. N. Device for batching of free-flowing preservatives for processing of feed grains when flattening. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Voronezh, 2021. Art. 022056.

9. Raskin L. G. Analysis of complex systems and elements of optimal control theory. Moscow: Sov. Radio, 1976. 344 p.

10. Nazarevich S. A., Antokhina Yu. A., Frolova E. A., Yastrebov A. P., Kazakov M. V. Markov chains for analyzing the quality level of organizational systems processes. Quality and life. 2023. No 4 (40). Pp. 37-43.

11. Nazarevich S. A., Merkulova A. Yu. Markov Chains for Solving Problems of Process Control in a Production System. System Analysis and Logistics. 2023. No 1 (35). Pp. 67-73.

12. Morozov V. V., Bogdanov K. A., Smelik V. A., Volkhonov M. S., Kukhar V. S. Rationale for the design and technological parameters of the extruder for the production of sapropel and grain feed. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 699 (1). Art. 012062.

13. Kuznetsov N. N., Shushkov R. A., Vershinin V. N. Simulation modeling of the technological line of post-harvest processing of seed grain. News of the St. Petersburg State Agrarian University. 2019. No 57. Pp. 235-240.

14. Miroshnichenko Yu. A., Gamayunov P. P., Fomin S. D. Digital transformation of the agro-industrial complex. Izvestiya NVAUK. 2025. No 2 (80). Pp. 465-471.

15. Kerimov M. A., Valge A. M. Optimization and Decision-Making in Agricultural Engineering. Moscow: KolosS, 2021. 502 p.

16. Kuzovnikov M. M. Improving the efficiency of harvesting and post-harvest processing of grain crops in the North-Western region of the Russian Federation by improving technological processes and technical means: dissertation. St. Petersburg: SZNIIMESH, 2010. 134 p.

17. Mogilnitsky V. M., Gudkov D. A. On the feasibility of producing flattened fodder grain in the North-Western region. Technologies and technical means of mechanized production of plant and animal products. 2002. No 73. Pp. 165-169.

18. Kostychev K. V. Effectiveness of combined electro-impulse and ultrasonic processing of fodder grain: increasing digestibility and reducing antinutrients. Izvestiya NVAUK. 2025. No 3 (81). Pp. 529-537.

19. Asmankin E. M., Kukaev Kh. S., Ushakov Yu. A., et al. Accelerated processing technology as a method of energy-rich impact on grain mass. News of the Orenburg State Agrarian University. 2023. No 6 (104). Pp. 154-161.

20. Smelik V. A., Dianov L. V., Maslov M. M. And what would be tasty fodder: good fodder is the key to success in animal husbandry. Zolotaya Niva. 2004. No 4. Pp. 6-9.

21. Savinykh P. A., Turubanov N. V. Technical and economic assessment of the applied technologies and technical means in the preparation of balanced compound feed in the conditions of the Euro-North-East of Russia. News of the NGIEI. 2024. No 5 (156). Pp. 46-58.

Информация об авторах

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2А), ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-5004-9457, e-mail: smelik_va@mail.ru

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, Волгоградский государственный аграрный университет (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, 26), ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7910-9284, e-mail: fsd_58@mail.ru

Захаров Антон Михайлович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское шоссе, 3), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3501-0543, e-mail: bauermw@mail.ru

Перекопский Александр Николаевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 196634, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Фильтровское шоссе, 3), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0998-2306, e-mail: aperekopskii@mail.ru

Authors' Information

Smelik Viktor Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, St. Petersburg State Agrarian University (Russian Federation, 196601, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe shosse Str., 2A), ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-5004-9457, e-mail: smelik_va@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

Zakharov Anton Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Institute of Agricultural Engineering and Environmental Problems of Agricultural Production - the branch of the Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, p. Tyarlevo, Filtrovskoye shosse Str., 3), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3501-0543, e-mail: bauermw@mail.ru

Perekopskiy Aleksandr Nikolaevich, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Institute of Agricultural Engineering and Environmental Problems of Agricultural Production - the branch of the Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM (Russian Federation, 196634, St. Petersburg, p. Tyarlevo, Filtrovskoye shosse Str., 3), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0998-2306, e-mail: aperekopskii@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-63

THE DIGITAL TECHNOLOGY FOR THE GUARANTEED PROBABILITY OF THE SPARE PARTS' FAILURE-FREE OPERATION CALCULATING WITH THE PREDICTIVE ASSESSMENT OF THEIR RELIABILITY BASED ON THE POISSON MODEL

[2]Uspensky I. A., [1]Murog I. A., [2]Yukhin I. A., [2]Sinitsin P. S., [2]Filyushin O. V., [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 18.02.2026 Submitted 27.05.2026

Abstract

Introduction. With the rapid development of industry and technology, the critical importance of guaranteeing the reliability and continuity of equipment operation is becoming a strategic priority. Downtime caused by component failure and unavailability of spare parts leads to significant financial losses. Traditional statistical methods for assessing the probability of spare parts failure, based on averaged data, do not meet the requirements of dynamic production procedures and high accuracy standards. The integration of predictive analytics, IoT, and digital twins into component reliability calculation procedures opens up potential for inventory optimization and service maintenance. Therefore, the presented study is highly relevant and has practical significance across all industries today. **Object.** The object of the study is digital technologies and their impact on predicting the reliability of spare parts and managing repair inventory (MRO).). **Materials and methods.** The study utilized a variety of materials and methods. For the theoretical component, we analyzed scientific literature and summarized experience with traditional methods for calculating spare parts failure-free operation. For the practical component, we developed algorithms and tools for digitalizing the calculations, and a software prototype was created. We also applied statistical methods, including analysis of time-to-failure data and modeling random processes based on the Poisson distribution. The choice of the Poisson model was justified by its adequacy for describing sudden failures during normal operation, the limited size of representative samples in real-world plant conditions, and the need to obtain interpretable results. **Results and conclusion.** The software module architecture for calculating the guaranteed operability of spare parts was proposed. Calculation algorithms were implemented, allowing for the determination of optimal safety stock with a specified confidence level based on failure statistics. Testing of the developed solution demonstrated a 75 % reduction in calculation time and an 18-22 % increase in the accuracy of spare parts demand forecasting compared to traditional manual methods. Directions for further research, including integration with telemetry data collection systems, were identified.

Keywords: *digital calculation technologies, spare parts reliability, spare parts reliability forecasting, Poisson model, and inventory management systems.*

Citation. Uspensky I. A., Murog I. A., Yukhin I. A., Sinitsin P. S., Filyushin O. V., Kutyraev A. A. The digital technology for the guaranteed probability of the spare parts' failure-free operation calculating with the predictive assessment of their reliability based on the Poisson model. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 571-579 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-63.

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

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

УДК 629.3.083+004

ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЁТА ГАРАНТИРОВАННОЙ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ С ПРЕДИКТИВНОЙ ОЦЕНКОЙ ИХ НАДЁЖНОСТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПУАССОНА

[2]Успенский И. А., *доктор технических наук, профессор*
[1]Мурог И. А., *доктор технических наук, профессор*
[2]Юхин И. А., *доктор технических наук, профессор*
[2]Синицин П. С., *кандидат технических наук, доцент*
[2]Филюшин О. В., *кандидат технических наук*
[2]Кутыраев А. А., *аспирант*

[1]*Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации*
г. Москва Российская Федерация
[2]*ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева»*
г. Рязань, Российская Федерация

Актуальность. При стремительном развитии индустрии и технологий критическая значимость гарантирования надежности и непрерывности функционирования оборудования становится стратегическим приоритетом. Простои, вызванные отказом компонентов и отсутствием запасных

частей, ведут к значительным финансовым потерям. Традиционные статистические методы оценки вероятности безотказной работы запасных частей, основанные на усредненных данных, не удовлетворяют требованиям динамичных производственных регламентов и высоким стандартам точности. Интеграция предиктивной аналитики, IoT и цифровых двойников в процедуру расчета надежности компонентов открывает потенциал для оптимизации запасов и сервисного обслуживания. В этой связи представленное исследование приобретает высокую актуальность и практическую значимость сегодня во всех отраслях. **Объект.** Объектом исследования выступают цифровые технологии и их влияние на прогнозирование надежности запасных частей и управление ремонтными запасами (MRO). **Материалы и методы.** В ходе проведения исследования было задействовано разнообразие материалов и методов. Для теоретической составляющей мы использовали анализ научной литературы и обобщение опыта в области применения традиционных методов расчёта вероятности безотказной работы запасных частей. В рамках практических методов были разработаны алгоритмы и инструменты для цифрового преобразования расчетов, а также создан прототип программного обеспечения. Мы также применили статистические методы, включая анализ данных о наработке до отказа и моделирование случайных процессов на основе распределения Пуассона. Выбор пуассоновской модели обоснован её адекватностью для описания внезапных отказов на участке нормальной эксплуатации, ограниченным объемом репрезентативных выборок в реальных условиях предприятий и необходимостью получения интерпретируемых результатов. **Результаты и выводы.** Предложена архитектура программного модуля для расчета гарантированной вероятности работоспособности запасных частей. Выполнена алгоритмизация вычислений, позволяющая на основе статистики отказов определять оптимальный страховой запас с заданной доверительной вероятностью. Апробация разработанного решения показала сокращение времени расчетов на 75 % и повышение точности прогнозирования потребности в запасных частях на 18-22 % по сравнению с традиционными ручными методами. Определены направления дальнейших исследований, включающие интеграцию с системами сбора телеметрических данных.

Ключевые слова: *цифровые технологии расчета, надежность запасных частей, прогнозирование надежности запасных частей, модель Пуассона, системы управления складскими запасами.*

Цитирование. Успенский И. А., Мурог И. А., Юхин И. А., Синицин П. С., Филюшин О. В., Кутыраев А. А. Цифровая технология расчёта гарантированной вероятности безотказной работы запасных частей с предиктивной оценкой их надёжности на основе модели Пуассона. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 571-579. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-63.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Разработка стратегии планирования обслуживания [10] и обеспечения необходимым инвентарем [8, 9] требует всестороннего анализа различных аспектов: от производственных возможностей оборудования до распределения логистических центров, степени износа активов, технических параметров товаров, количества имеющихся запасов и частоты поломок [1, 2, 3, 5]. Стандартные подходы к управлению запасами, такие как метод планирования материальных потребностей (MRP), обычно базируются на фиксированных или статистических данных, что считается субоптимальным при стохастической природе сбоев.

Современные системы управления запасами на складах (WMS) и ресурсами компании (ERP) обеспечивают мониторинг товарных потоков в режиме реального времени. Их интеграция с технологиями автоидентификации (например, штрих-коды, RFID-теги) уменьшает работу персонала и устраняет ошибки, связанные с человеческим фактором. Сканирование индивидуальных идентификаторов (OE-идентификаторы, EAN-коды) при приемке улучшает точность и скорость обработки данных, а, следовательно, и синхронизацию этих данных в корпоративной базе данных. Это, в свою очередь, гарантирует прослеживаемость партий товара. Автоматизация учетных операций лежит в основе сбора точных данных, которые критически важны для анализа надежности предприятия.

Но точный учет – это лишь начальный этап. Основная сложность заключается в оценке потребностей в запасных частях, которая зависит от оценки вероятности их износа и выхода из строя. Традиционные методики прогнозирования надежности, опирающиеся на исторические данные о пробеге оборудования, часто не адаптированы к изменяющимся условиям использования, что не позволяет эффективно прогнозировать нехватку компонентов. Анализ рынка указывает, что это ведет к частым остановкам в производственных процессах. Отсюда следует необходимость внедрения цифровых технологий в процессы расчета.

Материалы и методы. Данное исследование опирается на ключевые принципы теории надежности [4, 7] и методологию математической статистики. Основой для анализа выступила модель Пуассоновского потока отказов. Эта модель эффективно моделирует случайные отказы компонентов, предполагая их независимость и стационарность в период регулярного использования.

Вероятность безотказной работы P(t) в течение времени t при постоянной интенсивности отказов λ определяется экспоненциальным законом распределения:

$$P\ (t) = e^{-\lambda \mathrm{t}}$$

Для решения задачи планирования поставок запасных частей используется интегральная характеристика – вероятность того, что за время T потребуется не более k запасных элементов. Эта величина рассчитывается по формуле Пуассона:

$$P\ (k) = \sum_{n=0}^{k} \frac{(\lambda \mathrm{T})^n}{\mathrm{n!}} \mathrm{e}^{-\lambda \mathrm{T}}$$

где λ – интенсивность отказов (определяется по статистике эксплуатации), T – плановый период, k – количество запасных частей на складе.

Интенсивность отказов λ рассчитывается на основе обработки эксплуатационных данных:

$$\lambda = \frac{N_{\text{отк}}}{\mathrm{T}_{\Sigma}}$$

где $N_{\text{отк}}$ – общее число отказов за наблюдаемый период, T_{Σ} – суммарная наработка всех наблюдаемых изделий.

Методика проведения исследования.

Исследование проводилось в несколько этапов:

1. **Аналитический этап.** Изучение научно-технической литературы, нормативной документации и существующего опыта применения цифровых технологий для расчета надежности запасных частей. Выявление преимуществ и ограничений существующих подходов.

2. **Методологический этап.** Обоснование выбора математической модели, разработка алгоритма автоматизированного расчета, определение структуры входных и выходных данных.

3. **Программно-реализационный этап.** Разработка архитектуры программного модуля включает выбор инструментальных средств, кодирование, отладку и тестирование. Программная реализация выполнена на языке Python с использованием библиотек NumPy, Pandas и Matplotlib. Интерфейс пользователя реализован в виде веб-приложения на основе фреймворка Streamlit, что обеспечивает кроссплатформенность, простоту развертывания и возможность интеграции с существующими информационными системами через API.

4. **Оценочный этап.** Сравнительный анализ эффективности разработанного цифрового метода и традиционного подхода, основанного на ручном расчете по нормативным таблицам. Оценка производилась по следующим критериям: время расчета, точность определения интенсивности отказов, точность прогноза потребности в запасных частях, трудоемкость, возможность динамического обновления.

Результаты и обсуждение. В результате исследования создан программный прототип «Reliability Calculator», автоматизирующий расчет параметров надежности. Система выполняет следующие функции:

- ввод данных о количестве наблюдаемых изделий, числе отказов и периоде наблюдения;
- автоматический расчет фактической интенсивности отказов λ;
- расчет вероятности безотказной работы P(t) на заданный интервал;
- определение необходимого количества запасных частей для различных уровней доверительной вероятности (0,8; 0,9; 0,95; 0,99);
- визуализация функции надежности в виде графика;
- экспорт результатов в форматы CSV и XLSX.

На рисунке 1 демонстрируется пользовательский интерфейс для ввода исходных данных в созданный программный модуль. Пользователь может определять параметры анализируемой выборки, устанавливать доверительный уровень и определять временной горизонт прогноза.

Рисунок 1 – Интерфейсная форма ввода данных для расчета вероятности безотказной работы
Figure 1 – Interface data entry form for calculating the probability of failure-free operation

На рисунке 2 приведен экран вывода результатов, включающий табличные значения вероятностей и график функции надежности P(t).

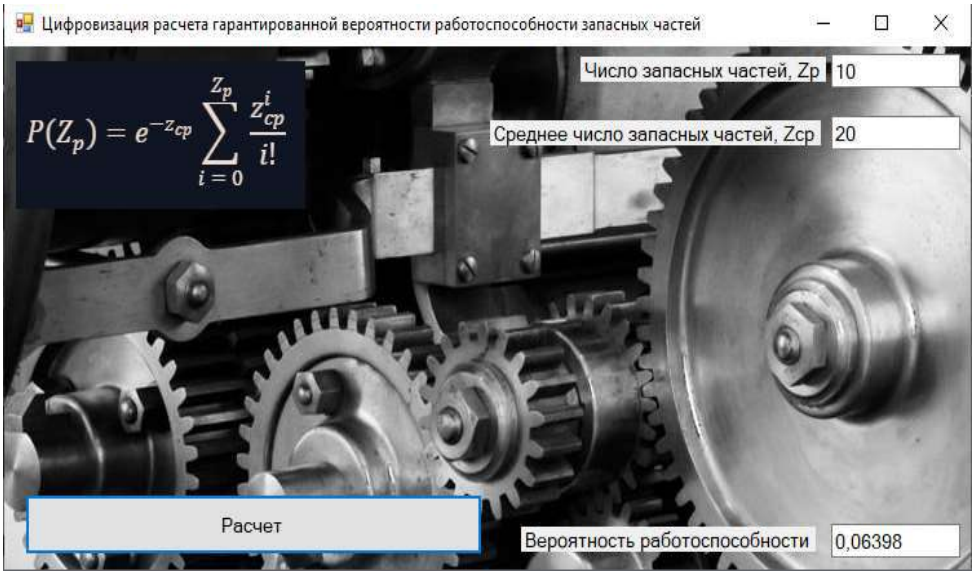


Рисунок 2 –Интерфейсная форма с результатами расчета вероятности безотказной работы
Figure 2 – Interface form with the results of the calculation of the probability of failure-free operation

Для оценки эффективности разработанного решения проведен сравнительный анализ с традиционным подходом, основанным на ручном расчете по нормативным таблицам. В качестве объекта апробации выбрана группа подшипников качения (тип 6306), эксплуатирующихся на зерноуборочных комбайнах в хозяйствах Рязанской области. Исходные данные: количество наблюдаемых изделий – 50 ед., период наблюдения – 24 месяца, зафиксировано 12 отказов. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение традиционного и цифрового методов расчета надежности
Table 1 – Comparison of traditional and digital methods of reliability calculation

Показатель / Indicator	Традиционный метод (ручной расчет по нормативам) / Traditional method (manual calculation based on regulations)	Цифровой метод (программный модуль) / Digital method (software module)	Изменение / Change
Время расчета на одну номенклатурную позицию, мин / Calculation time for one item, min	40	10	Снижение на 75 % / 75 % reduction
Точность определения интенсивности отказов λ / Accuracy of determining the failure rate λ	± 18 % (использование нормативных данных, не учитывающих условия эксплуатации) / ± 18 % (using regulatory data that does not take into account operating conditions)	± 5 % (расчет по фактическим данным конкретного хозяйства) / ± 5 % (calculated based on the actual data of a specific farm)	Повышение точности на 13 % / 13 % increase in accuracy
Точность прогноза потребности в запасных частях на сезон (6 мес.), % / Accuracy of predicting the need for spare parts for the season (6 months), %	74	94	Повышение на 20 % / 20 % increase
Возможность учета динамики эксплуатации (обновление λ) / Ability to account for operational dynamics (λ update)	Отсутствует (требуется полный пересчет вручную) / Missing (requires full manual recalculation)	Реализована (автоматическое обновление при добавлении данных) / Implemented (automatic update when data is added)	Качественное улучшение / Qualitative improvement
Трудоемкость расчета оптимального страхового запаса для 20 позиций, чел.-ч / Labor-intensive calculation of the optimal insurance stock for 20 items, man-hours	12	2	Снижение в 6 раз / 6-fold reduction

В соответствии с представленной информацией, разработанный программный модуль гарантирует:

1. Оптимизацию процесса расчетов. Внедрение программного обеспечения для автоматизации вычислений уменьшило длительность обработки данных с 40 до 10 минут на один элемент (сокращение времени на 75 %). Это особенно ценно при управлении запасами на складах с обширным ассортиментом товаров, увеличивая общую производительность операций.

2. Улучшение точности прогностических моделей. Применение реальных операционных данных отдельной компании вместо обобщенных стандартов значительно увеличивает верность оценок реальной частоты сбоев. В анализируемом случае, разница между реальными данными и нормативными показателями достигла 18 %, что имеет решающее значение для эффективного управления запасами и закупок дорогих запасных частей. Точность прогнозирования потребностей возросла на 20 %.

3. Скорость обновления моделей в цифровом виде позволяет аккумулировать данные о неисправностях и автоматически корректировать параметры модели с поступлением свежей информации, адаптируя прогнозы к новым условиям использования.

4. Оптимизацию расчета страховых запасов. Проведя анализ стандартного ассортимента товаров (20 позиций), мы сократили время затрат с 12 до 2 человеко-часов. Это позволило перераспределить рабочее время сотрудников инженерно-технического отдела на выполнение других важных операций.

Необходимо отметить методологическую адекватность выбранного подхода. Классическая пуассоновская модель, реализованная в программном модуле, полностью соответствует характеру внезапных отказов на участке нормальной эксплуатации. В реальных условиях предприятий, где объемы выборок данных о сбоях часто ограничиваются десятками или сотнями случаев, параметрические методы, такие как пуассоновская регрессия, показывают наибольшую эффективность, позволяя получать интерпретируемые и статистически значимые результаты. Простота и прозрачность модели обеспечивают ее быстрое внедрение и доверие со стороны инженерного персонала.

Дальнейшее развитие предложенного подхода видится не в усложнении алгоритмов, а в расширении источников данных для уточнения входных параметров модели. Накопление эксплуатационной информации, в том числе за счет интеграции с системами сбора телеметрических данных (IoT), позволит повысить точность оценки интенсивности отказов λ и адаптировать прогнозы под реальные условия работы оборудования. Это открывает путь к созданию цифровых двойников узлов и агрегатов, сохраняя при этом методологическую основу на базе классической теории надежности.

Реализация предложенного модуля способствует его эффективной интеграции в действующие системы управления обслуживанием оборудования (CMMS) и корпоративные информационные системы (ERP). Это повышает автоматизацию в организации закупочных операций комплектующих, а также в разработке расписаний для регулярного техобслуживания, основанных на достоверной информации о функциональной надежности устройств, существенно снижая тем самым вероятность неожиданных остановок в работе.

Заключение. По результатам проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. **Актуальность цифровизации подтверждена.** Традиционные методы расчета надежности запасных частей, основанные на усредненных нормативах и ручных вычислениях, не в полной мере соответствуют современным требованиям по точности, оперативности и адаптивности к изменяющимся условиям эксплуатации. Переход к цифровым методам является объективной необходимостью для повышения эффективности управления техническим обслуживанием.

2. **Методологическая основа разработана.** Предложена и научно обоснована методика автоматизированного расчета вероятности безотказной работы, базирующаяся на модели пуассоновского потока отказов и использовании актуальных эксплуатационных данных. Выбор данной модели обусловлен ее адекватностью для описания внезапных отказов на участке нормальной эксплуатации, простотой реализации и интерпретируемостью результатов. Проведенный анализ современных методов прогнозирования подтвердил целесообразность применения классического статистического подхода в условиях ограниченных выборок данных.

3. **Программная реализация выполнена.** Разработан программный прототип «Reliability Calculator», реализующий предложенную методику. Архитектура модуля обеспечивает кроссплатформенность, масштабируемость и возможность интеграции с существующими информационными системами предприятий через API. Интерфейс ориентирован на инженерно-технический персонал и не требует специальной подготовки в области программирования или высшей математики.

4. **Эффективность подтверждена экспериментально.** Экспериментальная апробация на реальных данных эксплуатации подшипников качения сельскохозяйственной техники подтвердила высокую эффективность разработанного решения:

- сокращение времени расчетов на 75 %;
- повышение точности прогнозирования потребности в запасных частях на 18-22 %;
- снижение трудоемкости планирования в 6 раз;
- обеспечение возможности динамического обновления моделей по мере накопления данных.

5. **Практическая значимость определена.** Внедрение разработанного программного модуля в практику работы инженерных служб позволяет:

- оптимизировать складские запасы, сокращая как дефицит, так и избыточное хранение;
- снизить риски внеплановых простоев оборудования;
- повысить обоснованность планирования закупок запасных частей;
- сократить трудозатраты инженерно-технического персонала;
- создать основу для перехода к предиктивным стратегиям технического обслуживания.

6. **Перспективы дальнейших исследований.** Развитие представленного подхода будет осуществляться по следующим направлениям:

- интеграция разработанного модуля с системами сбора телеметрической информации (IoT-датчики) для перехода к динамическому расчету интенсивности отказов в реальном времени и раннему обнаружению признаков развивающихся дефектов;
- исследование возможности применения методов анализа выживаемости для учета влияния множества факторов (условия эксплуатации, режимы нагружения) на надежность узлов;
- разработка методик применения методов машинного обучения (градиентный бустинг, случайный лес, нейронные сети) для прогнозирования отказов при наличии больших массивов разнородных данных, включая данные технической диагностики;
- создание цифровых двойников узлов и агрегатов, позволяющих моделировать процессы износа и оптимизировать стратегии технического обслуживания;
- разработка экономико-математических моделей для оценки эффективности инвестиций в цифровизацию процессов управления надежностью.

Таким образом, представленное исследование вносит вклад в решение актуальной научно-практической задачи цифровизации расчета надежности запасных частей, предлагая доступный и эффективный инструмент для повышения эффективности управления техническим обслуживанием оборудования.

Conclusion. The following conclusions can be drawn from the results of the study:

1. The relevance of digitalization has been confirmed. Traditional methods for calculating spare parts reliability, based on average standards and manual calculations, do not fully meet modern requirements for accuracy, efficiency, and adaptability to changing operating conditions. The transition to digital methods is an objective necessity for improving the efficiency of maintenance management.

2. A methodological framework has been developed. A methodology for automated calculation of the probability of failure-free operation has been proposed and scientifically substantiated. This methodology is based on a Poisson failure rate model and the use of current operating data. This model was chosen due to its adequacy for describing sudden failures during normal operation, ease of implementation, and interpretability of the results. An analysis of modern forecasting methods confirmed the feasibility of using a classical statistical approach in conditions of limited data samples.

3. Software implementation has been completed. A software prototype, "Reliability Calculator," has been developed, implementing the proposed methodology. The module's architecture ensures cross-platform compatibility, scalability, and the ability to integrate with existing enterprise information systems via an API. The interface is designed for engineering and technical personnel and does not require specialized training in programming or higher mathematics.

4. Efficiency has been experimentally confirmed. Experimental testing on real data from the operation of rolling bearings in agricultural machinery confirmed the high efficiency of the developed solution:

– 75 % reduction in calculation time;
– 18-22 % increase in the accuracy of spare parts demand forecasting;
– 6-fold reduction in planning labor intensity;
– enabling dynamic model updates as data accumulates.

5. Practical significance has been determined. Implementation of the developed software module in engineering services allows for:

– Optimization of warehouse inventory, reducing both shortages and excess storage;
– mitigation of the risk of unscheduled equipment downtime;
– Enhanced validity of spare parts procurement planning;
– reduce the labor costs of engineering and technical personnel;
– create a basis for the transition to predictive maintenance strategies.

6. Prospects for further research. The presented approach will be developed in the following areas:

– integrate the developed module with telemetry data collection systems (IoT sensors) to enable dynamic calculation of failure rates in real time and early detection of signs of developing defects;
– study the feasibility of applying survival analysis methods to account for the influence of multiple factors (operating conditions, loading modes) on the reliability of components;
– develop methodologies for applying machine learning methods (gradient boosting, random forest, neural networks) to predict failures in the presence of large arrays of heterogeneous data, including technical diagnostic data;
– create digital twins of components and assemblies to model wear processes and optimize maintenance strategies;
– develop economic and mathematical models to assess the effectiveness of investments in the digitalization of reliability management processes.

Thus, the presented study contributes to the solution of the current scientific and practical problem of digitalization of spare parts reliability calculations, offering an accessible and effective tool for improving the efficiency of equipment maintenance management.

Библиографический список

1. Успенский И. А. и др. Определение удельного электрического сопротивления сдвига фрикционной накладки тормозной колодки относительно металлической пластины (корпуса). Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 395-405.

2. Шемякин А. В. и др. Гальванические покрытия Fe-Ni-p для восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники и технологического оборудования. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3 (75). С. 302-309.

3. Колотов А. С. и др. Эффективность телематики в технической эксплуатации автотранспорта. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 504-511.

4. Byshov N. V., Simdyankin A. A., Uspensky I. A., Pukov R. V. Accounting for the time of ultrasonic fuel processing in the surface tension coefficient. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V. 14. No 21. Pp. 3753-3756.

5. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. Transportation Research Proceeding. Saint Petersburg, 2020. Pp. 662-673.

6. Рябчиков Д. С. и др. Актуализация применения информационных технологий в сфере грузоперевозок. Транспортное дело России. 2024. № 3. С. 274-277.

7. Дидманидзе О. Н., Зиманов Л. Л., Карагодин В. И., Солнцев А. А. Унификация технологических процессов ремонта автомобильной техники. Транспортное дело России. 2024. № 2. С. 203-206.

8. Юхин И. А. и др. Анализ и прогнозирование потребностей дилерской СТО в запасных частях. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 411-421.

9. Успенский И. А. и др. Учет запасных частей на складе дилерской СТО. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 2 (80). С. 390-402.

10. Карагодин В. И. и др. Зависимость стратегий ремонта машин от условий их эксплуатации. Транспорт на альтернативном топливе. 2024. № 3 (99). С. 62-72.

11. Родионова Е. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Волченкова В. А. Инновационное устройство для контроля изнашивания тормозных накладок автомобилей сельскохозяйственного назначения. Техника и оборудование для села. 2019. № 7 (265). С. 30-34.

References

1. Uspensky I. A. et al. Determination of the specific electrical resistance of the shear of the friction lining of the brake shoe relative to the metal plate (housing). News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2020. No 3 (59). Pp. 395-405.

2. Shemyakin A. V. et al. Fe-Ni-p galvanic coatings for restoration of worn parts of agricultural machinery and process equipment. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 3 (75). Pp. 302-309.

3. Kolotov A. S. et al. Efficiency of telematics in technical operation of motor transport. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 3 (81). Pp. 504-511.

4. Byshov N. V., Simdyankin A. A., Uspensky I. A., Pukov R. V. Accounting for the time of ultrasonic fuel processing in the surface tension coefficient. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. V. 14. No 21. Pp. 3753-3756.

5. Simdyankin A., Uspensky I., Belyu L. Mechanism of improving safety of freight transportation by road with route optimization by organizing areas with increased freight tariffs. Transportation Research Proceeding. Saint Petersburg, 2020. Pp. 662-673.

6. Ryabchikov D. S. et al. Updating the application of information technologies in the field of freight transportation. Transport business of Russia. 2024. No 3. Pp. 274-277.

7. Didmanidze O. N., Zimanov L. L., Karagodin V. I., Solntsev A. A. Unification of technological processes for repairing automotive equipment. Transport Business of Russia. 2024. No 2. Pp. 203-206.

8. Yukhin I. A. et al. Analysis and forecasting of dealer service station needs for spare parts. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 411-421.

9. Uspensky I. A. et al. Accounting for spare parts at the dealer service station warehouse. News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 2 (80). Pp. 390-402.

10. Karagodin V. I. et al. Dependence of machine repair strategies on their operating conditions. Alternative fuel transport. 2024. No 3 (99). Pp. 62-72.

11. Rodionova E. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Volchenkova V. A. Innovative device for monitoring the wear of brake linings of agricultural vehicles. Machinery and equipment for the village. 2019. No 7 (265). Pp. 30-34.

Информация об авторах

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

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

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

Синицин Павел Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: Pasha.Sinitsin@yandex.ru

Филюшин Олег Владимирович, кандидат технических наук, ассистент кафедры, Рязанский государственный агротехнологический университет им П.А. Костычева, (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: olegfil93@mail.ru
Кутыраев Александр Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева (Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1), e-mail: kutyraev@bk.ru

Authors' Information

Uspensky Ivan Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: ivan.uspensckij@ya.ru
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
Yukhin Ivan Aleksandrovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: yuival@rambler.ru
Sinitsin Pavel Sergeevich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: Pasha.Sinitsin@yandex.ru
Filyushin Oleg Vladimirovich, Candidate of Engineering Sciences, Assistant of the Department, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostycheva Str., 1), e-mail: olegfil93@mail.ru
Kutyraev Aleksandr Andreevich, graduate student, Ryazan State Agro-technological University named after P. A. Kostychev (Russian Federation, 390044, Ryazan, Kostychev Str., 1), e-mail: kutyraev@bk.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-64

THE RATIONALE OF THE POLYMER WATER-CARRYING PIPES WITH VARIABLE WALL THICKNESS USAGE RELEVANCE ON THE HOSE-REEL IRRIGATION MACHINES

[1]Barabanov V. V., [2]Soloviev A. V., [3]Rabetskaya O. I., [1]Gerashchenko A. A.

[1]Scientific and Production Association "Meliorator"
Volzhsky, Russian Federation
[2]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation
[3]Siberian State University of Science and Technology
Krasnoyarsk, Russian Federation

Corresponding author E-mail: BarabanovV@mail.ru

Received 13.03.2026 Submitted 05.05.2026

Summary

This article presents theoretical calculations and justification for the use of polymer water-carrying pipes in high-performance hose-reel irrigation machines. Based on these calculations, a practical solution is proposed to improve the efficiency of this type of irrigation machine.

Abstract

Introduction. An important parameter when operating hose-reel irrigation machines is the seasonal load, which is expressed as the area (hectares) that can be serviced by one hose-reel irrigation machine without moisture deficit under the soil and climate conditions of the zone. Seasonal load directly depends on the capacity of the water-bearing elements, primarily due to the polymer pipe of the hose-reel irrigation machine. Using larger diameter pipes allows for the seasonal load to be taken into account. However, when using pipes with a diameter of 125 mm or more, several nuances arise related to the installation of the pipe on the reel of the reel irrigation machine. **Object.** The object of the research is various configurations of water supply pipes of a hose-reel irrigation machine. **Materials and methods.** The research was conducted at the production facility of NPO Meliorator LLC and based on practical experience in operating hose-reel irrigation machines with various diameters of water-carrying polymer pipes. **Results and conclusions.** An evaluation of operational experience led to the conclusion that it is necessary to use large-diameter pipes with variable wall thicknesses. Following a theoretical calculation of the forces affecting the performance of a hose-reel irrigation machine in the context of the required installation of polymer water pipes, the necessary recommendations were made to the manufacturer. The result of this work is the development of pipes with optimized performance characteristics.

Keywords: *hose-reel irrigation machines, designs of sprinklers, production of reclamation equipment, import substitution of agricultural machinery, polymer pipes, Irrivol sprinkler machines.*

Citation. Barabanov V. V., Soloviev A. V., Rabetskaya O. I., Gerashchenko A. A. The rationale of the polymer water-carrying pipes with variable wall thickness usage relevance on the hose-reel irrigation machines. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 579-585 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-64.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.347

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ВОДОНЕСУЩИХ ТРУБ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ НА БАРАБАННЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИНАХ

[1]**Барабанов В. В.**, *кандидат сельскохозяйственных наук*
[2]**Соловьев А. В.**, *кандидат технических наук*
[3]**Рабецкая О. И.**, *кандидат технических наук*
[1]**Геращенко А. А.**, *аспирант*

[1]ООО «Научно-производственное объединение «Мелиоратор»
г. Волжский, Волгоградская область, Российская Федерация
[2] ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация
[3] ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и техники им. М. Ф. Решетнева»
г. Красноярск, Российская Федерация

Актуальность. Важным параметром при эксплуатации барабанных дождевальных машин является сезонная нагрузка, которая выражается как площадь (га), которую может обслуживать одна дождевальная машина без дефицита влаги в условиях конкретной почвенно-климатической зоны. Сезонная нагрузка напрямую зависит от пропускной способности водонесущих элементов, главным из которых является полимерная труба барабанной дождевальной машины. Использование труб большего диаметра позволяет увеличивать сезонную нагрузку. Но при эксплуатации труб с диаметром 125 мм и более возникает ряд нюансов, связанных с укладкой трубы на барабан дождевальной машины. **Объект.** Объектом исследований являются различные конфигурации водопроводящих труб дождевальной машины барабанного типа. **Материалы и методы.** Исследования проводились на производстве ООО «НПО Мелиоратор» и на основании практического опыта эксплуатации барабанных дождевальных машин с различными диаметрами водопроводящих полимерных труб. **Результаты и выводы.** В результате оценки опыта эксплуатации сделаны выводы о необходимости применения труб большого диаметра с переменной толщиной стенки. После теоретического расчета усилий, влияющих на качество работы барабанной дождевальной машины в контексте требуемой укладки полимерной водопроводящей трубы, производству даны необходимые рекомендации. Итогом проведенной работы является освоение производства труб с оптимизированными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: *дождевальные машины барабанного типа, конструкции дождевальных машин, производство мелиоративной техники, импортозамещение сельскохозяйственной техники, полимерные трубы, дождевальные машины Irrivol.*

Цитирование. Барабанов В. В., Соловьев А. В., Рабецкая О. И., Геращенко А. А. Обоснование актуальности применения полимерных водонесущих труб с переменной толщиной стенки на барабанных дождевальных машинах. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 579-585. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-64.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Барабанные дождевальные машины являются неотъемлемой частью парка механизации орошения РФ [2, 3, 4]. Этот тип машин обладает определенной спецификой, обеспечивая хорошую равномерность полива на участках со сложными контурами [5]. В целях улучшения экономики использования постоянно ищутся приемы, снижающие стоимость эксплуатации оборудования [6, 7] и повышающие технологичность орошения [8, 10]. За последние полтора десятка лет началось производство нескольких отечественных марок таких машин, продолжаются НИОКР [11], и разработка ресурсосберегающих технологий орошения [9, 12]. Производительность дождевальных машин барабанного типа зависит от пропускной способности основного водонесущего элемента конструкции – полимерной трубы, наматываемой на барабан. Подавляющее число высокопроизводительных ДМ имеет трубу 110 мм. При одинаковых условиях труба диаметром 125 мм позволяет прокачивать на 25 % больше воды – в силу увеличения площади сечения. При производстве российских ДМ использовалась труба с постоянной толщиной стенки и эксплуатация этих машин выявила недостаток в виде потери плотности намотки трубы на последних витках – в конечной стадии полива, когда почти вся труба намотана на барабан и усилие сопротивления намотки минимальное. В этот момент пружинящее усилие трубы превышает силы, обеспечивающие плотную укладку трубы на барабан.

Материалы и методы. Ниже на рисунке 1 представлена геометрическая схема, отображающая условия намотки трубы на барабан дождевальной машины.

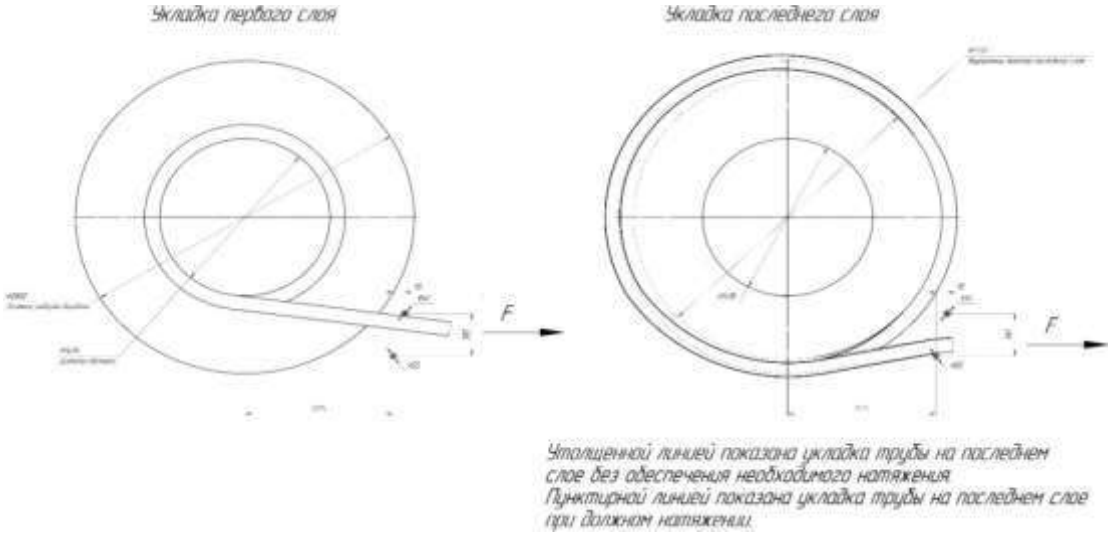


Рисунок 1 – Схема укладки трубы на барабан дождевальной машины
Figure 1 – Diagram of pipe laying on the reel of a sprinkler machine

Сила F формируется массой трубы (заполненной водой и опирающейся на почву; создает силу трения скольжения) и массой концевого дождевателя (он на колесах и создает силу трения качения), которая в зависимости от модели может колебаться от 250 до 1850 кг [1].

Тяговое усилие на горизонтальной поверхности выражается как:

$$F = g*M*к, \quad (1)$$

где, F – тяговое усилие, Н; M – масса груза, кг; к – коэффициент сопротивления; g = 9,8 м/с^2 – ускорение свободного падения.

А расчет сопротивления сматывания трубы:

$$F=((g*M1*L)+(g*M2))*0,8 \quad (2)$$

где, F – усилие сопротивления сматывания, Н; M1 – масса 1 метра трубы (с водой), кг/м; L – длина трубы, м; i – передаточное отношение «вал привода – ось барабана»; M2 – масса конструкции дождевателя, кг; 0,8 – коэффициент, учитывающий трение скольжения трубы и трение качения подвижной тележки дождевателя; g = 9,8 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Для описания теоретического обоснования расчета пружинящего усилия трубы воспользуемся классическим подходом теории упругости и устойчивости (Тимошенко С. П. Прочность и колебания элементов конструкций. М.: Наука, 1975. 704 с.).

Базовая модель для расчета пружинящего момента трубы:

$$M = \frac{E \cdot I}{R} \quad (3)$$

где, *E* – модуль упругости полиэтилена, Мпа; *R* – радиус намотки, м; *D* – наружный диаметр, м.

При этом момент инерции тонкостенной трубы

$$I=\pi\,(D^4-d^4)\,/64 \quad (4)$$

где, *d = D – 2t, м.*

Для тонкостенной трубы (t ≪ D) упрощённо момент инерции будет равен (Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 984 с.):

$$I \approx \pi D^3 t/8 \quad (5)$$

где I – момент инерции, м^4; π – математическая константа, равная 3,14159; t – толщина стенки трубы, м; *D* – наружный диаметр трубы, м; 8 – коэффициент, являющийся результатом интегрирования распределения массы по окружности.

В итоге, пружинящий момент растёт линейно относительно увеличения толщины стенки трубы. А пружинящее усилие (реактивная сила), стремящаяся разогнуть трубу, выражается как:

$$Fs \approx E\pi D^3 t/8R^2 \quad (6)$$

где Fs – реактивная сила, возникающая под действием пружинящего момента, Н; E – модуль упругости полиэтилена, Мпа; π – математическая константа, равная 3,14159; D – наружный диаметр трубы, м; t – толщина стенки трубы, м; 8 – коэффициент, являющийся результатом интегрирования распределения массы по окружности; R – радиус намотки, м.

Результаты и обсуждение. Фактором, ограничивающим свободу перемещения трубы в вертикальной плоскости, является каретка трубоукладчика, точнее два ее горизонтальных ролика. Очевидно, что в конце процесса смотки момент сматывания требуется не большой; пружинящее усилие трубы может превышать этот момент, и труба перестает плотно укладываться. Это приводит к нарушению технологии работы дождевальной машины и потенциальному аварийному отключению из-за дефектов намотки трубы на барабан. Такое развитие событий ведет к срыву сроков полива, последующим дефициту влаги в посевах и недобору урожая.

С целью недопущения такого развития событий актуально уменьшение толщины стенки трубы. Но при утонении трубы по всей длине начинает проявляться другой негативный эффект – труба на первом слое при намотке становится сильно овальной. Шаг каретки трубоукладчика фиксирован по всей длине намотки, поэтому сильное отклонение геометрии трубы от округлого сечения приводит к накоплению ошибки и перехлесту трубы. Эта аварийная ситуация требует остановки полива, дополнительных затрат времени и труда. В связи с вышеизложенным, оптимальным вариантом является применение трубы с переменной толщиной стенки – на первых слоях толщина больше, на последнем слое толщина уменьшается.

Рассмотрим геометрическую модель, учтем наружный диаметр трубы D = 125 мм, пусть E = 900 Мпа, R = 1,337 м. Модуль упругости взят по нижней границе табличных значений, поскольку при производстве водонесущих труб для дождевальных машин барабанного типа используются специфические полимерные смеси. Радиус взят на основе реальной дождевальной машины Irrivol.

Результаты вычислений для вариантов с разной толщиной стенки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – зависимость пружинящего усилия от толщины стенки трубы
Table 1 – dependence of spring force on pipe wall thickness

Толщина стенки полимерной трубы t, мм / Wall thickness of a polymer pipe t, mm	Пружинящее усилие Fs, Н / Spring force Fs, N
6	2340,24
7	2730,28
8	3120,32
9	3510,36
10	3900,40

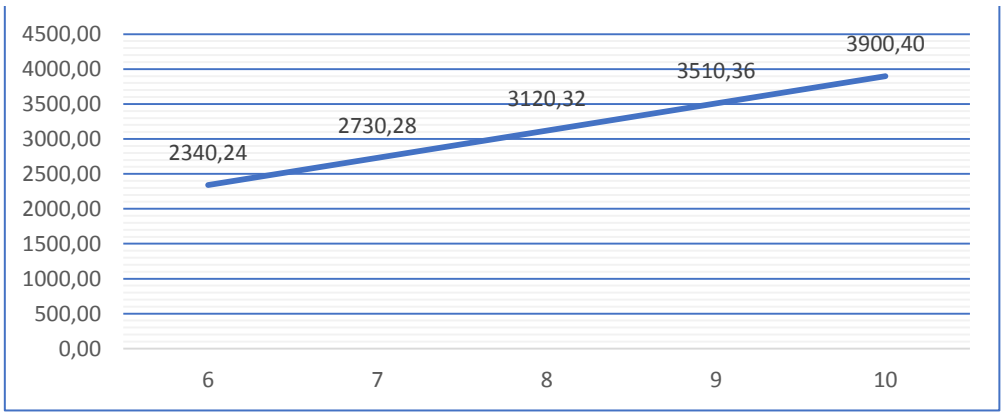


График 1 – Зависимость пружинящего усилия от толщины стенки трубы
Graph 1 – Dependence of spring force on pipe wall thickness

Из представленного материала видно, что рост пружинящего усилия трубы с увеличением толщины стенки происходит практически линейно и составляет около 400 Н на каждый дополнительный мм.

Для практического эксперимента были взяты два варианта трубы:

Вариант 1. Труба диаметром 125 мм, постоянная толщина стенки (SDR 13.6) 9,2 мм.

Вариант 2. Труба диаметром 125 мм, переменная толщина стенки – до половины намотки (SDR 13.6) 9,2 мм, вторая половина намотки (SDR 17) 7,4 мм. Такая конфигурация позволяет избежать излишней овальности на первых слоях трубы на барабане и, одновременно, получить плотную намотку в конце процесса полива.

Исходные данные расчета:

- длина трубы 1 витка последнего слоя, м – 8,40;
- масса штатива, кг – 300;
- масса 1 метра трубы (SDR13,6 ф125) с водой, кг – 12,29;
- масса 1 метра трубы (SDR17 ф125) с водой, кг – 12,28;
- длина трубы общая, м – 410;
- радиус последнего слоя укладки, м – 1,337;
- модуль упругости материала трубы (полиэтилен + присадки), Мпа – 900.

Таблица 2 – этапы работы машины для указания параметров
Table 2 – stages of machine operation for specifying parameters

II	Перед намоткой верхнего (последнего) слоя трубы / Before winding the top (last) layer of the pipe
III	Перед намоткой трех последних витков верхнего слоя трубы / Before winding the last three turns of the top layer of the pipe
IV	Перед намоткой двух последних витков верхнего слоя трубы / Before winding the last two turns of the top layer of the pipe
V	Перед намоткой последнего витка верхнего слоя трубы / Before winding the last turn of the top layer of the pipe

Подставляя исходные данные в соответствующие формулы (1,5), получаем значения, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – сравнение усилия сопротивления смотки F и пружинящего усилия трубы Fs на разных этапах
Table 3 – comparison of the winding force F and the spring force of the pipe Fs at different stages

Для трубы с постоянным SDR (13,6) / For a pipe with a constant SDR (13.6)			Для трубы с переменным SDR (13,6 – 17) / For a pipe with a variable SDR (13.6 – 17)		
Этап работы машины / Machine operation stage	Пружинящее усилие Fs, Н / Spring force Fs, H	Усилие смотки F, Н / Winding force F, H	Этап работы машины / Machine operation stage	Пружинящее усилие Fs, Н / Spring force Fs, H	Усилие смотки F, Н / Winding force F, H
II	3551	11982	II	2856	11982
III		4779	III		4779
IV		3971	IV		3971
V		3161	V		3161

Поскольку масса трубы с водой в вариантах отличается незначительно, значения усилия смотки практически не различаются. А пружинящее усилие в силу разности толщины стенки имеет критическую разницу. В варианте с постоянной толщиной стенки трубы не обеспечивается плотная намотка на последнем витке. На практике такое развитие событий не всегда ведет к аварийному отключению машины, но факт нештатной работы присутствует. Операторам дождевальной машины приходится вручную дотягивать трубу до штатного положения, что отрицательно сказывается на технологичности полива – растут затраты времени при смене позиции машины.

Заключение. Несмотря на применение специальных полимерных смесей при производстве труб для барабанных дождевальных машин с пониженным модулем упругости, теоретический расчет и практический опыт показывают необходимость применения технологии, обеспечивающей переменную толщину стенки трубы. Конфигурация трубы с более тонкой стенкой на последних витках намотки (в конце процесса полива) должна обеспечить безаварийность работы за счет штатной (плотной) укладки трубы на барабан дождевальной машины. Работоспособность вариантов с постоянной толщиной стенки сильно зависит от массы дождеобразующих

устройств на конце трубы – штатива с дальнеструйным дождевателем или дождевальной консоли. При недостаточности массы наблюдаются сбои намотки, приводящие к аварийной остановке машины. Для гарантированной штатной работы и универсальности конфигураций барабанных дождевальных машин с диаметрами водонесущей трубы 125 мм и более следует применять переменную толщину стенки трубы.

Conclusion. Despite the use of special polymer blends in the production of hose-reel irrigation machines pipe with a reduced modulus of elasticity, theoretical calculations and practical experience demonstrate the need for technology that provides variable pipe wall thickness. A pipe configuration with a thinner wall on the final winding turns (at the end of the irrigation process) should ensure trouble-free operation due to a consistent (tight) installation of the pipe on the reel of the irrigation machine. The performance of constant wall thickness options is highly dependent on the weight of the rain-generating devices at the end of the pipe – a tripod with a long-range sprinkler or a boom sprinklers. Insufficient weight can cause winding failures, leading to an emergency shutdown of the machine. To ensure consistent operation and versatility in hose-reel irrigation machines configurations with water-carrying pipe diameters of 125 mm or more, a variable wall thickness should be used.

Библиографический список

1. Барабанов В. В., Соловьев А. В., Геращенко А. А. Создание российского привода барабанных дождевальных машин путем реинжиниринга. Известия НВ АУК. 2026. 1 (85). С. 581-588.
2. Анализ рынка и производственных предприятий ирригационной техники. Информационно-аналитический доклад. ФГБНУ ВНИИ «Радуга», 2020. С. 7-9.
3. Турапин С. С., Костоварова И. А. Аналитический обзор, ретроспектива, география поставок и актуальная оценка потребности на Российском рынке шланго-барабанных дождевальных машин. Экология и строительство. 2021. № 1. С. 30-38.
4. Турапин С. С., Костоварова И. А. Анализ рынка шланго-барабанных дождевальных машин. Техника и оборудование для села. 2021. № 7 (289). С. 2-7.
5. Костоварова И. А., Шленов С. Л. Качественные показатели полива шланго-барабанных дождевальных машин. Вестник мелиоративной науки. 2025. № 1. С. 25-33.
6. Бакиров С. М. Анализ энергозатрат на дождевальную машину. Аграрный научный журнал. 2019. № 10. С. 95-98.
7. Абдулмажидов Х. А., Абдулмажидов Р. А., Поддубный В. И. Оценка эффективности работы дождевальных машин. Тенденции развития науки и образования. 2018. № 44-5. С. 34-36.
8. Овчинников А. С. и др. Технические решения для эффективной работы дождевальных машин. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 4 (76). С. 302-310.
9. Булгаков В. И., Мищенко Н. А. Энергосберегающие, экологически безопасные технологии и технические средства орошения для агропромышленного комплекса России. Вестник мелиоративной науки. 2022. № 3. С. 30-32.
10. Зейлигер А. М., Затинацкий С. В., Ермолаева О. С., Колганов Д. А. Анализ пространственного варьирования влажности почвенного покрова вдоль фронта дождевальной машины. Природообустройство. 2023. № 3. С. 15-22.
11. Ольгаренко Г. В. и др. Выполнение опытно-конструкторских работ по разработке дождевальной техники нового поколения. Очет о НИР № 188/20-ГК от 15.07.2018. Минсельхоз России, 2018.
12. Ольгаренко Г. В. и др. Разработка ресурсосберегающих технологий орошения и новой экологически безопасной дождевальной техники для строительства, реконструкции, технического перевооружения и эксплуатации гидромелиоративных систем, обеспечивающих рациональное использование мелиорируемых земель. Отчет о НИР № 319а/20-ГК от 15.08.2017. Минсельхоз России, 2017.

References

1. Barabanov V. V., Soloviev A. V., Gerashchenko A. A. The creation of the Russian drive for the hose-reel irrigation machines through the reengineering. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Comp. 2026. No 1 (85). Pp. 581-588.
2. Analysis of the market and manufacturing enterprises of irrigation equipment. Information and analytical report. Raduga, 2020. Pp. 7-9.
3. Turapin S. S., Kostovarova I. A. Analytical review, retrospective, geography of supplies and current assessment of demand in the Russian market of hose-reel irrigation machines. Ecology and Construction. 2021. No. 1. Pp. 30-38.
4. Turapin S. S., Kostovarova I. A. Analysis of the market of hose-reel irrigation machines. Machinery and equipment for the village. 2021. No. 7 (289). Pp. 2-7.
5. Kostovarova I. A., Shlenov S. L. Qualitative indicators of irrigation of hose-drum irrigation machines. Bulletin of melioration science. 2025. No. 1. Pp. 25-33.
6. Bakirov S. M. Analysis of energy costs for a sprinkler machine. Agrarian scientific journal. 2019. No. 10. Pp. 95-98.
7. Abdulmazhidov Kh. A., Abdulmazhidov R. A., Poddubny V. I. Evaluation of the efficiency of irrigation machines. Trends in the Development of Science and Education. 2018. No. 44-5. Pp. 34-36.
8. Ovchinnikov A. S. et al. Technical solutions for the efficient operation of irrigation machines. Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No. 4 (76). Pp. 302-310.
9. Bulgakov V. I., Mishchenko N. A. Energy-saving, environmentally friendly technologies and technical means of irrigation for the agro-industrial complex of Russia. Bulletin of Ameliorative Science. 2022. No. 3. Pp. 30-32.

10. Zeiliger A. M., Zatinatsky S. V., Ermolaeva O. S., Kolganov D. A. Analysis of spatial variation of soil moisture along the front of a sprinkler machine. Nature management. 2023. No. 3. Pp. 15-22.

11. Olgarenko G. V. et al. Carrying out experimental design work on the development of a new generation of irrigation equipment. Research report No. 188/20-GK dated July 15, 2018. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2018.

12. Olgarenko G. V. et al. Development of resource-saving irrigation technologies and new environmentally friendly sprinkler equipment for the construction, reconstruction, technical re-equipment and operation of irrigation and drainage systems ensuring the rational use of reclaimed lands. Research Report No. 319a/20-GK dated 15.08.2017. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2017.

Информация об авторах

Барабанов Владимир Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, директор по развитию, ООО «Научно-производственное объединение «Мелиоратор» (Российская Федерация, 404121, Волгоградская область, г. Волжский, ул. Пушкина, 117Г), e-mail: BarabanovV@mail.ru

Соловьев Александр Витальевич, кандидат технических наук, проректор по инновационно-производственной деятельности, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: 34asolo@gmail.com

Рабецкая Ольга Ивановна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Институт космической техники ФГОУ ВО СибГУ им. М. Ф. Решетнева (Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий), e-mail: olga_rabez@mail.ru

Геращенко Андрей Андреевич, аспирант, главный конструктор, ООО «Научно-производственное объединение «Мелиоратор» (Российская Федерация, 404121, Волгоградская область, г. Волжский, ул. Пушкина, 117Г), e-mail: info@npomeliorator.com

Authors' Information

Barabanov Vladimir Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Development Director, Meliorator Research and Production Association (Russian Federation, 404121, Volgograd region, Volzhsky, Pushkin St., 117G), e-mail: BarabanovV@mail.ru

Soloviev Aleksandr Vitalievich, Candidate of Engineering Sciences, Vice-Rector, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: 34asolo@gmail.com

Rabetskaya Olga Ivanovna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Institute of Space Technology, Siberian State University named after M. F. Reshetnev (Russian Federation, 660037, Krasnoyarsk, Gazeta Krasnoyarsky rabochy Ave.), e-mail: olga_rabez@mail.ru

Gerashchenko Andrey Andreevich, Postgraduate Student, Chief Designer, Scientific and Production Association "Meliorator" (Russian Federation, 404121, Volgograd region, Volzhsky, Pushkin St., 117G), e-mail: info@npomeliorator.com

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-65

THE SEED PREPARATION FLOW TECHNOLOGIES DEVELOPMENT TRENDS

[1]Dondokov Y. Z., [1]Afanasyeva T. I., [2]Strikunov N. I., [1]Drincha V. M., [3]Borisenko I. B., [1]Tarasov I. M.

[1]Arctic State Agro-technological University
Yakutsk, Russian Federation
[2]Altai State Agrarian University
Barnaul, Russian Federation
[3]Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: borisenivan@yandex.ru

Received 20.04.2026 Submitted 22.05.2026

Summary

The results of the historical development of grain and seed cleaning equipment and seed preparation technologies in Russia are presented.

Abstract

Introduction. Postharvest seed processing is an effective and efficient process for improving seed quality and preparing seeds for sowing or safe storage until sowing the following season. As the technological and design concepts of grain-seed cleaning machines, as well as auxiliary transport and other equipment, evolved, seed processing technologies also changed. The first simple grain cleaning machines were portable, hand-operated winnowing machines which appeared on farms beginning in the second half of the 19th century and remained in use for nearly a century. The first continuous-flow seed preparation technologies were developed based on winnowing machines in the 1950s. The technological and design solutions developed by scientists and designers during that period evolved and were applied in various versions of grain-cleaning units and systems, which form the foundations of grain processing and seed preparation on farms to this day. Modern continuous-flow seed preparation technologies continue to evolve, incorporating the same principles used in the last century. As a result, grain and seed cleaning machines are currently using new applications in modern flow technologies which lead to a decrease in the technological and economic efficiency of seed preparation. **The aim of the article** is to conduct a systemic analysis and identify trends in the development of grain separating machines and flow technologies for post-harvest grain processing and seed preparation from the time of the appearance of simple winnowing machines (late 19th century) to

the present day. **Materials and methods.** The research was based on an analysis of domestic and international literature on the development of agricultural mechanization, and grain production in particular. Particular attention was paid to the analysis of patent literature from the United States, the European Union, and Russia. The research was based on a method for analyzing complex technical systems from a global perspective, from their inception to the present. The objects of study were scientific journals and conference proceedings of national and international agricultural engineering societies covering a period of more than a century, as well as test reports from machine experiment stations and standards. **Results and discussion.** The article presents the results of a systems analysis of the development of grain and seed cleaning machines, from the simplest hand-operated winnowing machine (second half of the 19th century) to modern seed enterprises. It has been established that the technological principles of seed enterprise design have changed little over the past 30-70 years. Separation of seed materials in modern technologies is based on the differences in the physical properties of the components of seed mixtures. An important resource for the development of domestic seed machines and technologies was the creation of a network of research institutes in the country in the 1930s, which began intensive and extensive research into the physical properties of seeds. The results of domestic scientists at that time were ahead of those of foreign scientists in the field of studying the properties of seeds and creating the scientific foundations of machine technologies for seed preparation. The work of Professor N.N. Ulrich in the field of searching for features (physical properties) of the separation of components of seed mixtures by three attributes using correlation spatial tables was significantly ahead of its time. In the first half of the 1950s, the first continuous-flow seed preparation technologies were developed using winnowing machines. These technologies later formed the basis for the creation of standard designs for grain processing units and systems. In the early 1980s, seed cleaning attachments were supplied to grain processing units, ensuring that seeds met seed standards. The implementation of continuous-flow technologies in units and systems has fundamentally changed the technical and social nature of post-harvest grain processing and seed preparation. Further development of continuous-flow seed preparation technologies is a purely scientific task and should be based, first and foremost, on continued research into the physical properties of seeds and their correlation with their productivity and yield.

Keywords: *post-harvest grain processing, grain cleaning machines, seed cleaning machines, grain drying machines, flow seed preparation technologies, and modernization of grain and seed cleaning equipment.*

Citation. Dondokov Y. Z., Afanasyeva T. I., Strikunov N. I., Drincha V. M., Borisenko I. B., Tarasov I. M. The seed preparation flow technologies development trends. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 585-600 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-65.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.53

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПОТОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН

[1]**Дондоков Ю. Ж.,** *кандидат технических наук, доцент*
[1]**Афанасьева Т. И.,** *ст. преподаватель*
[2]**Стрикунов Н. И.,** *кандидат технических наук, доцент*
[1]**Дринча В. М.,** *доктор технических наук, профессор*
[3]**Борисенко И. Б.,** *доктор технических наук, профессор*
[1]**Тарасов И. М.,** *аспирант*

[1]ФГБОУ ВО Арктический государственный агротехнологический университет
г. Якутск, Российская Федерация
[2] ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет
г. Барнаул, Алтайский край, Российская Федерация
[3]ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Результаты исследований, представленные в статье, были получены в 2025 г. в процессе реализации гранта НОЦ "Север" №П-27 от 26.09.24 г. "Организация производства линейки машин по очистке семян для спецсемхозов системы семеноводства РС(Я) по зерновым, зернобобовым и кормовым многолетним травам, и хозяйствам по заготовке кормов".

Актуальность. Послеуборочная обработка семян является эффективным и действенным процессом повышения их качества и подготовки семян к посеву или безопасному хранению до высева в следующем сезоне. В процессе эволюционного развития технологических и конструктивных схем зерносемяочистительных машин, а также вспомогательного транспортного и другого оборудования изменялись и технологии обработки семян. Первыми простейшими зерноочистительными машинами были переносные веялки с ручным приводом, которые появлялись в хозяйствах, начиная со второй половины XIX века, и применялись в течение почти века. Первые поточные технологии подготовки семян разрабатывались на базе веялок в 1950-х годах. Технологические и конструктивные

решения, выработанные учеными и конструкторами в тот период, эволюционно развивались и применялись в различных вариантах зерноочистительных агрегатов и комплексов, которые составляют основную базу обработки зерна и подготовки семян в хозяйствах и в настоящее время. В процессе эволюции современные поточные технологии подготовки семян включают те же принципы, что и в середине прошлого века. В результате чего в настоящее время зерно-семяочистительные машины новых поколений применяются в устаревших поточных технологиях, что приводит к снижению технологической и экономической эффективности подготовки семян. **Цель исследований** – проведение системного анализа и выявление тенденций развития зерносепарирующих машин и поточных технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян с момента появления простейших веялок (конец XIX века) по настоящее время. **Материалы и методы.** Исследования проводились на основании анализа отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных вопросам развития механизации сельского хозяйства и, в частности, зернопроизводства. Особое внимание уделялось анализу патентной литературы США, ЕС и России. В основе исследований лежал метод анализа сложных технических систем в глобальном аспекте с момента их появления до настоящего времени. Объектами исследований являлись научные журналы и труды конференций национальных и международных агроинженерных обществ за более чем столетний период, отчеты испытаний машинно-опытных станций и стандарты. **Результаты и обсуждение.** Представлены результаты системного анализа развития зерно-семяочистительных машин: от простейшей веялки с ручным приводом (2-я половина XIX века) до современных семенных предприятий. Установлено, что технологические принципы проектирования семенных предприятий мало изменились за последние 30-70 лет. Сепарация семенных материалов в современных технологиях основана на различии физических свойств компонентов семенных смесей. Важным ресурсом развития отечественных семенных машин и технологий было создание в стране сети НИИ в 30-х годах прошлого века, в которых начались интенсивные и обширные исследования физических свойств семян. Результаты отечественных ученых того времени опережали разработки зарубежных коллег в области изучения свойств семян и создании научных основ машинных технологий подготовки семян. Работы профессора Н. Н. Ульриха в области поиска признаков (физических свойств) сепарации компонентов семенных смесей по трем признакам с применением корреляционных пространственных таблиц существенно опередили свое время. В первой половине 50-х годов на базе веялок были разработаны первые поточные технологии подготовки семян, которые впоследствии легли в основу создания типовых проектов агрегатов и комплексов для обработки зерна. В начале 80-х годов к зерновым комплексам промышленность поставляла семяочистительные приставки, обеспечивающие доведение семян до требований стандартов на посевной материал. Реализация поточных технологий в агрегатах и комплексах позволила принципиально изменить технический и социальный характер послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. Дальнейшее развитие поточных технологий подготовки семян является чисто научной задачей и должно основываться, в первую очередь, на продолжении работ по дальнейшему изучению физических свойств семян и их корреляции с продуктивными и урожайными свойствами семян.

Ключевые слова: *послеуборочная обработка зерна, зерноочистительные машины, семяочистительные машины, зерносушильные машины, технологии поточной подготовки семян, модернизация зерно-семяочистительной техники.*

Цитирование. Дондоков Ю. Ж., Афанасьева Т. И., Стрикунов Н. И., Дринча В. М., Борисенко И. Б. Тарасов И. М. Тенденции развития поточных технологий подготовки семян. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 585-600. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-65.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Семена – это основной, жизненно важный ресурс в сельском хозяйстве, определяющий эффективность всех систем земледелия и наиболее значимый по сравнению с другими ресурсами, как плодородие почвы, удобрения, агрохимикаты, вода и др. Семена, как средство распространения преимуществ технологий, влияют на рост и устойчивость российского сельского хозяйства. Своевременное наличие качественных семян нужного сорта в достаточном количестве определяет силу и здоровье экономики сельского хозяйства, особенно в таких странах, как Россия. Поэтому крайне важно, чтобы хозяйства использовали для посева чистые, здоровые семена, соответствующие требованиям стандартов.

Для обеспечения конкурентоспособности и получения качественной продукции зерноводческие хозяйства должны использовать здоровые семена, очищенные от посторонних примесей, в том числе семян других культурных и сорных растений.

Производство семян – это биологический процесс, включающий размножение небольшого количества семян селекционеров в большие количества для коммерческого распространения в соответствии с определенными этапами в течение последовательных сезонов выращивания. Поскольку семена являются живыми организмами, они подвержены естественным явлениям старения и отмирания. Поэтому семена требуют бережного обра-

щения, особенно во время уборки, транспортировки, послеуборочной обработки и хранения. Применяемые технологии комбайно-транспортного комплекса и послеуборочной обработки зерна вследствие механического воздействия рабочих органов машин на легкотравмируемый семенной материал приводят к снижению генетического потенциала семян и их посевных свойств [2, 16, 19].

В современных семенных предприятиях реализованы технологии, приоритетной функцией которых является кондиционирование семян, то есть доведение семенного материала по чистоте и влажности до состояния, позволяющего безопасно обращаться с семенами на последующих этапах обработки и хранения, а также осуществлять более эффективную их обработку на следующих этапах подготовки семян к посеву. Кондиционирование семян может включать в себя увлажнение, удаление придатков, удаление основных примесей или их комбинацию, чтобы сделать партию семян сыпучей и предотвратить механические повреждения на дальнейших этапах обработки. Слишком низкое или слишком высокое содержание влаги в семенах может привести к росту механических повреждений, особенно у семян бобовых культур [3, 4, 18].

Одним из существенных недостатков отечественных и зарубежных технологий подготовки семян является недостаточная их эффективность при выделении трудноотделимых примесей из семенного зерна, а также сортирования семян по признакам, имеющим высокую корреляционную связь с продуктивными свойствами семян.

В последние 30 лет вследствие перехода от централизованной к рыночной экономике радикально изменилась структура зернопроизводящих хозяйств, образовалось большое количество хозяйств с малыми объемами производства зерна. Изменилась форма собственности зернопроизводителей на зерно. Ряд хозяйств, нуждающихся в современной зерно-семяочистительной технике и собственной современной базе хранения семян, не имеет достаточных средств для их приобретения. В результате подготовка семян сопряжена с большими количественными и качественными потерями.

Применение высококачественного посевного материала позволяет:

- реализовать потенциальную продуктивность сорта и увеличить урожайность посевов;
- получить высококачественный семенной материал и зерно свободное от токсинов;
- повысить точность посева и уменьшить норму высева;
- получить ровные всходы, устойчивые к неблагоприятным внешним условиям;
- уменьшить биологические и технологические потери зерна;
- снизить количество пестицидных обработок и уменьшить засоренность полей и сохранить питательные вещества в почве;
- облегчить последующую уборку и послеуборочную обработку урожая;
- уменьшить расход энергии и количество труда в зернопроизводстве;
- повысить экономическую эффективность и конкурентоспособность зернопроизводства.

Семена сыграли ключевую роль в мировой «биореволюции», поскольку урожайность сельскохозяйственных культур напрямую связана с их генетическим потенциалом. По оценкам специалистов и ученых, прямой вклад качественных семян в общий объем производства составляет около 15-20 % в зависимости от культуры, и его можно увеличить до 45 % при эффективном управлении другими ресурсами.

Немаловажным аспектом технологического обеспечения растениеводства в последние десятилетия является строительство дорогостоящих семенных заводов транснациональными компаниями Cimbria (Дания), Petkus (Германия), Lidea (Франция) и др. Объем инвестиций в такие заводы превышают несколько млрд рублей [16].

Необходимость дальнейшего развития процессов послеуборочной обработки зерна и подготовки семян (ПОЗПС) и адаптации их к рыночным условиям является вызовом для науки и промышленности.

Цель исследований – проведение системного анализа и выявление тенденций развития зерно-сепарирующих машин и поточных технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян с момента появления простейших веялок (конец XIX века) по настоящее время.

Материалы и методы. Исследования проводились на основании анализа отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных вопросам развития механизации сельского хозяйства и, в частности, зернопроизводства. Особое внимание уделялось анализу патентной литературы США, ЕС и России. В основе исследований лежал метод анализа сложных технических систем в глобальном аспекте с момента их появления до

настоящего времени. Объектами исследований являлись научные журналы и труды конференций национальных и международных агроинженерных обществ за более, чем столетний период, отчеты испытаний машинно-опытных станций и стандарты.

Результаты и обсуждение. До 1917 г. в России насчитывалось свыше 20 млн мелких единоличных крестьянских хозяйств (дворов), в составе которых было 65 % бедняцких, 20 % середняцких и 15 % кулацких хозяйств. Обработка урожая зерновых культур в бедняцких хозяйствах проводилась в основном вручную при помощи лопаты и ветра, а в кулацких и помещичьих для этой цели использовались машины ручного привода: веялки, сортировки, триеры, которые завозились из-за рубежа (фото 1). Эти машины являлись основными и некоторое время после революции, но они изготавливались уже на советских заводах в больших количествах вплоть до постановки на массовое производство новых зерноочистительных машин [5, 6].

Фото 1 – Очистка зернового вороха в поле с веялкой с ручным приводом (Томская губерния, 1906 г.)
Photo 1 – Cleaning a grain heap in a field with a hand-operated winnower (Tomsk province, 1906)

Из первых наиболее распространенных очистительных машин в хозяйствах России в начале 20 века были веялки, которые предназначались для выделения зерна из вороха, получаемого после обмолота хлебов. Веялки поставлялись с ручным или электрическим приводом. Веялка-сортировка ВС-2,0 представляла собой, по сути, первую комбинированную воздушно-решетную машину, включающую решетную и воздушную части (рисунок 1) [5, 6].

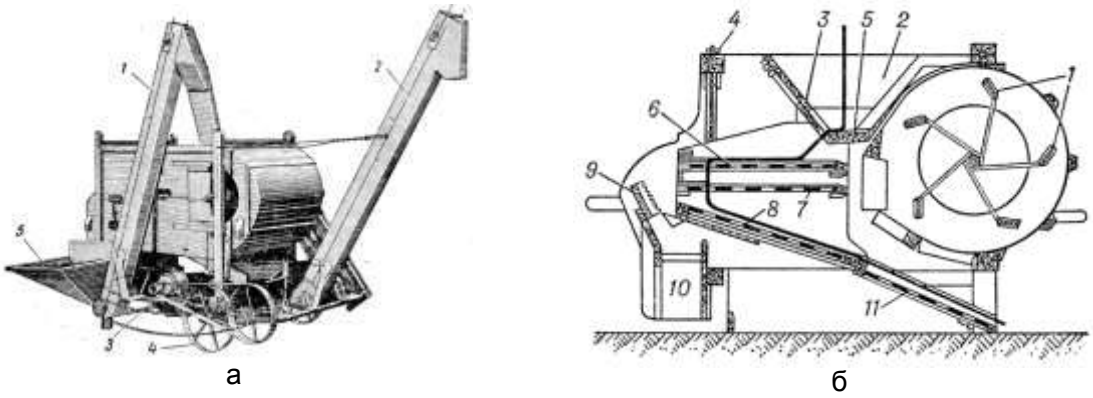


Рисунок 1 – Веялка-сортировка ВС-2,0 с транспортерами для зерна: а – общий вид: 1, 2 – элеваторы для зерна; 3 – электродвигатель; 4 – чугунные колеса; 5 – ковш; б – технологическая схема работы ВС-2,0: 1 – вентилятор; 2 – засыпной ковш; 3 – заслонка; 4 – регулятор наклона решет; 5 – колеблющееся дно ковша; 6, 7 и 8 – качающиеся проволочные решета; 9 – передвижной щиток; 10 – желоб для крупных примесей; 11 – неподвижное решето
Figure 1 – Winnowing and sorting machine VS-2.0 with grain conveyors: a – general appearance: 1, 2 – grain elevators; 3 – electric motor; 4 – cast iron wheels; 5 – bucket; b – flow chart of VS-2.0 operation: 1 – fan; 2 – charging bucket; 3 – damper; 4 – sieve tilt regulator; 5 – oscillating bucket bottom; 6, 7 and 8 – swinging wire sieves; 9 – sliding shield; 10 – chute for large impurities; 11 – fixed sieve

Зерно под действием гравитации поступает в горизонтальный воздушный поток, генерируемый вентилятором, и поступает на решета. Воздухом из вороха выделяются лёгкие примеси (мякина, полова, соломинки, листочки сорняков). На решетах отделяются крупные примеси (колосья, солома) и мелкие тяжелые (кусочки почвы, семена сорняков и др.). Таким образом, в веялках за один пропуск зерновой материал подвергался очистке в горизонтальном воздушном потоке, а также на решетах, что обусловливало высокую их технологическую функциональность. Комплектование веялок приемным и отгрузочным элеваторами облегчало их применение и приводило к повышению производительности (таблица 2) [6].

Таблица 2 – Техническая характеристика веялки ВС-0,2 с транспортерами для зерна
Table 2 – Technical characteristics of the VS-0.2 winnower with grain conveyors

Показатели / Indicators	Значение / Value
Производительность при очистке пшеницы / Performance when cleaning wheat	3-5 т/ч
Габаритные размеры (в рабочем положении) / Overall dimensions (in the working position): длина / length ширина / width высота / height	 4350 мм 1830 мм 2800 мм
Вес веялки с транспортерами / Weight of the threshing machine with conveyors	570 кг
Количество обслуживающего персонала / Number of operating personnel	2-3 чел.

Однако, несмотря на существенный прогресс в совершенствовании конструкций веялок, качество очистки зернового вороха на них было низким. При этом совокупные трудозатраты доходили до 22 чел.·ч на 1 т зерна [14, 15].

В начале 1900-х годов в России вставали вопросы отбора более урожайных семян. Применение веялок-сортировок было недостаточным. Оригинальным решением для этих целей стало применение «кружала», которое крайне недостаточно представлено в научно-технической литературе (фото 2).

Фото 2 – Очистка пшеницы кружалом (1900-1905 год, Томская губерния)
Photo 2 – Cleaning wheat with a «kruzhalo» (1900-1905, Tomsk province)

Ручное кружало чрезвычайно просто устроено. Оно состоит из обечайки, решетного полотна или кожи, трех-четырех гибких стяжек и подвесного крюка или кольца. Семенное зерно на кружалах разделяется, главным образом, по плотности зерновок.

Взявшись за обечайку, кружальщик придает кружалу сложное круговое движение. При этом семенная смесь, находящаяся в кружале, расслаивается, под действием гравитационных и инерционных сил и зерновой материал переходит в псевдоожиженное состояние. Более легкие примеси «всплывают» на поверхность слоя и концентрируются в его средней части, а более тяжелые и мелкие примеси опускаются вниз и проходят через решето кружала. Легкие примеси снимают с поверхности вручную при остановке кружала, хотя некоторые опытные мастера-кружальщики сбрасывали легкие примеси, не прекращая движения кружала. Таким образом, ручное кружало способно разделять семенную смесь на три фракции.

Существенным недостатком кружала является то, что оно приводилось в действие вручную и требовало от работника большого мастерства.

В начале XX века было разработано механическое кружало, непрерывного действия. Принцип его работы следующий. Исходный материал подают во вращающуюся воронку, которая обеспечивает ввод семян в указанную зону поступления. «Всплывшие» примеси снимаются подрезным кольцом и отражательным щитом направляются на скатные доски, выводящие их за пределы машины. Семена основной культуры проходят через отверстия рабочей плоскости кружала и попадают на внутреннюю скатную доску, выводящую их за пределы машины (рисунок 2).

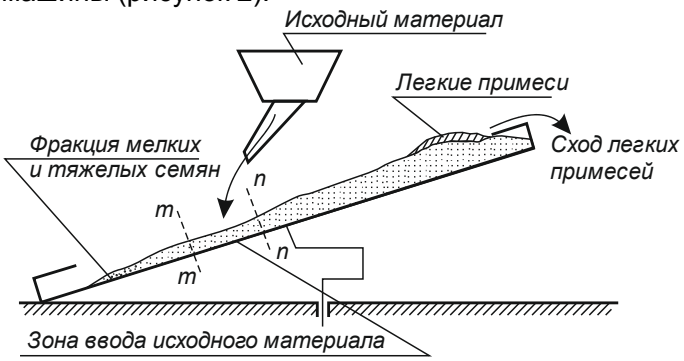


Рисунок 2 – Механическое кружало
Figure 2 – Mechanical «kruzhalo»

Для выделения мелких, тяжелых примесей в кружало вставляли соответствующее решето, при котором мелкие примеси попадают на скатную доску, а семена основной культуры снимаются подрезным кольцом и выходят из машины по скатной доске. Семенная смесь, содержащая в себе легкие и мелкие тяжелые примеси, требует двукратного пропуска на кружале непрерывного действия.

Механическое кружало непрерывного действия успешно выделяет из семян тимофеевки – семена повилики, из семян моркови – семена повилики перечной, из семян джута – семена повилики, из семян люцерны – семена щирицы жминдовидной.

Следует заметить, что в России с применением, главным образом, веялок, триеров и «кружал» в 1913 г. обрабатывали до 90 млн т зерна (по сведениям И. Пыхалова, в 1913 г. в Российской империи было собрано 90,2 млн т зерна (пшеница, рожь, ячмень, полба, гречиха, просо, кукуруза, овёс, горох, чечевица и бобы).

После 1917 г. в нашей стране созданы первые научные учреждения по механизации сельского хозяйства. Одна из важнейших задач, которую они решали, – послеуборочная обработка зерна и семян.

Стремительно растущие масштабы сельскохозяйственного производства в 30-е годы требовали новой техники, которую отечественная промышленность в те годы еще не выпускала: подчас и неизвестно было, что она должна собой представлять. Разрабатывать средства механизации сельскохозяйственного производства, соответствующие новые требованиям и условиям было поручено ВИМу (Всесоюзный НИИ механизации сельского хозяйства) и другим создаваемым в то время научным учреждениям.

В результате коллективизации в распоряжении колхозов оказалась самая примитивная техника, в основном рассчитанная на конную тягу: соха, плуг, борона, иногда сеялка, косилка, жатка-лобогрейка, простейшие стационарные машины (веялки, в редких случаях триеры с ручным приводом). Вся необходимая хозяйствам новая техника была сосредоточена на машинно-тракторных станциях (МТС). Мобильную технику (тракторы с прицепным инвентарем: плугами, боронами, культиваторами, сеялками и комбайны) МТС могли перебрасывать по мере надобности из одного хозяйства в другое и таким образом обслуживать значительные площади.

Со стационарными машинами возникли затруднения. Вновь организованные колхозы не имели средств для строительства капитальных зерноочистительных пунктов. В крупных совхозах требовалось несколько таких пунктов по одному в каждом отделении. Кроме того, строительство семенных элеваторов требовало много времени. А семена, притом высокого качества, нужны были немедленно. Выход из положения состоял в создании мо-

бильных зерноочистительных комплексов, которые в период уборки могли работать на токах, а в зимний период проводить подготовку материала, передвигаясь из одного хозяйства в другое.

Ввиду ограниченности транспортных средств, представлялось более простым и дешевым подвозить машины к семенным складам, чем перевозить многие тонны семенного материала к стационарным машинам. Этим объясняется, почему первым производственным заданием ВИМа полученным от Союзнаркомзема, была разработка сложных передвижных зерноочистительных машин, отвечающих требованиям крупного социалистического сельскохозяйственного производства. Опыта создания таких машин в стране не было. Требовалось определить основные направления работ для осуществления поставленных задач [1].

В 1934 г. под руководством заведующего лабораторией механизации семенного дела ВИМ Н. Н. Ульриха была создана и поставлена на производство первая отечественная передвижная зерноочистительная машина производительностью 10 т/ч на очистке зерна и 6-8 т/ч на очистке семян, а также машина ВИМ-2 производительностью 2-3 т/ч. Последняя послужила прообразом целого семейства машин, построенных на ее основе: ВИМ-СМ-1 (выпускавшейся на заводе «Серп и молот» г. Харьков) (фото 3), ОС-3,0, ОСМ-3У, ОС-4,5 и др. В разработке и совершенствовании рабочих органов и технологических схем машин активное участие принимали специалисты лаборатории З. Л. Тиц, Г. Т. Павловский, И. Е. Кожуховский, П. П. Колышев, И. Г. Воронов [10, 16].

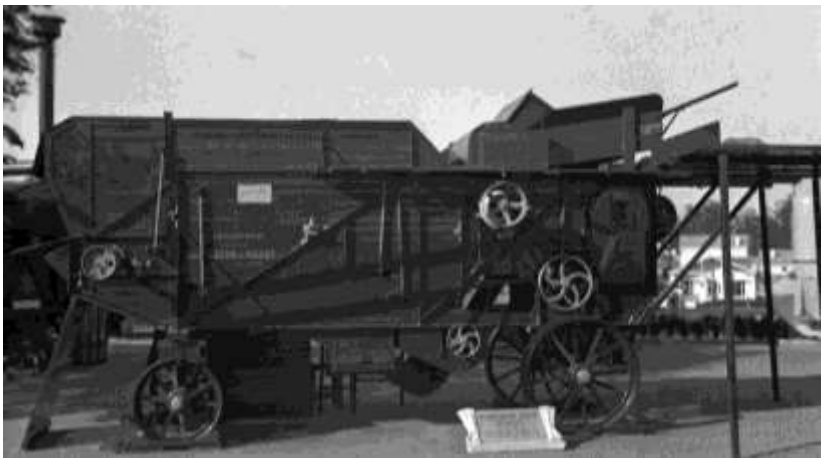


Фото 3 – Передвижная воздушно-решетная машина ВИМ-СМ-1 с ручной загрузкой
Photo 3 – Mobile air-cleaner VIM-SM-1 with manual loading

Для разработки более эффективных машин сепарирующих машин необходимо было исследовать материал, который предстояло обрабатывать на машинах, то есть семена основных сельскохозяйственных культур и сопутствующих им сорняков. Изучение физических свойств семенных смесей и их компонентов по зонам позволило оптимизировать технологические схемы процессов разделения зерновых смесей при очистке и сортировании семенного и товарного зерна. Для исследования свойств семян в широких масштабах требовалось создание новых приборов, которые позволили бы осуществлять с достаточной степенью точности массовые анализы и измерения.

Основные положения исследований физических свойств семян были заложены ленинградскими учеными. Результаты исследований составили основу нового научного направления по изучению семенных смесей как объекта работы сепарирующих машин [9].

Приборы создавали двух типов: для определения свойств как отдельных частиц, так и их совокупности. К первой группе относятся, например, весы для взвешивания массы отдельных семян, приборы механические и оптические для измерения геометрических размеров отдельных зерен.

Вторая группа приборов, получившая название классификаторов, позволяла разбивать семена на группы или классы по изучаемому признаку. При этом абсолютная величина признаков отдельных частиц внутри класса оставалась неизвестной, устанавливались только границы, в которых колеблется величина признака в пределах класса. Для статистической обработки результатов этого было достаточно.

С помощью приборов первой группы можно было получать абсолютные величины измеряемых признаков и путем вычисления переводить их в вариационные ряды, а с помощью приборов второй группы – сразу получать вариационные ряды, то есть определять границы, в которых колеблется величина признака семян каждого класса.

Линейка-классификатор позволяла определять не только класс, к которому относится зерно по длине, но и абсолютную длину каждого зерна. Были созданы приборы для определения внутреннего и внешнего трения семенных смесей, приборы для автоматического подсчета семян в заданной навеске и для отсчета заданного числа семян из некоторой навески. С помощью названных выше приборов исследовали физические свойства семян основных сортов сельскохозяйственных культур, а также наиболее распространенных семян сорняков.

Проведенные исследования физико-механических свойств семян привели к открытию, которое, может быть, сформулировано так: если вариационные ряды по каким-либо признакам компонентов смеси перекрываются полностью или частично, это еще не означает, что компоненты не разделены. Ответ на вопрос о делимости семян по заданным двум признакам можно получить, составив корреляционную таблицу для двух компонентов смеси. Если окажется, что ни в одной клетке таблицы не содержатся оба компонента, т. е. хотя вариационные кривые по каждому из двух признаков для обоих компонентов будут перекрываться, смесь путем последовательных делений можно разделить [14].

В начале 50-х годов актуальной была задача повышения эффективности работы многочисленного парка веялок и сортировок, получивших большое распространение в колхозах и совхозах. В 1950 году были разработаны, построены и испытаны первые опытные двухвеялочные зерноочистительные агрегаты (фото 4) [10].

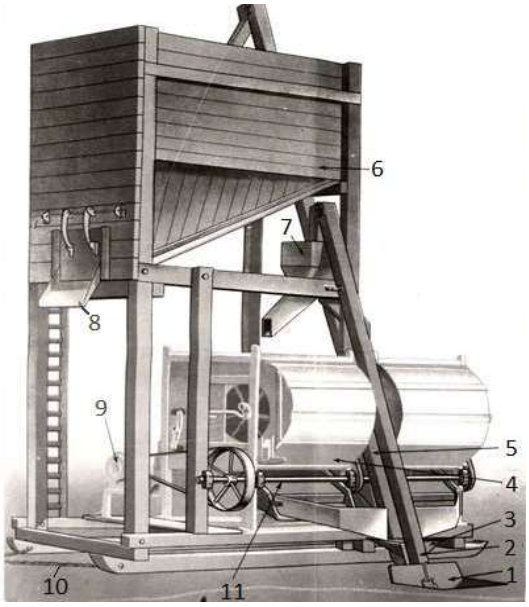


Фото 4 – Двухвеялочный зерноочистительный агрегат: 1 – завальная яма; 2 – транспортер; 3 – рама; 4 – веялка; 5 – транспортер; 6 – бункер; 7 – воронка; 8 – выпускной лоток; 9 – электродвигатель; 10 – прицеп; 11 – механический привод
Photo 4 – Double-winnowing grain cleaning unit: 1 – receiving pit; 2 – conveyor; 3 – frame; 4 – winnowing machine; 5 – conveyor; 6 – hopper; 7 – funnel; 8 – discharge chute; 9 – electric motor; 10 – trailer; 11 – mechanical drive

Агрегат (фото 4) состоит из двух веялок-сортировок, бункера емкостью 4 тонны, двух скребковых транспортеров, трансмиссии и двигателя, которые смонтированы на общей раме, опирающейся на полозья с прицепным устройством. Наличие полозьев позволяет поворачивать агрегат в зависимости от направления ветра, а также перемещать его в пределах тока и с тока на ток.

Агрегат работает следующим образом. Загрузочным транспортером зерно подается к верхней головке, оттуда по двум рукавам распределяется равномерно на обе веялки-сортировки. Очищенное зерно поступает в сборный ковш второго транспортера, с помо-

щью которого подается в бункеры последовательно путем переключения выходного рукава верхней головки по мере заполнения зерном каждого из них. Выгрузка чистого зерна из бункеров в автомашины осуществляется самотеком.

Привод веялок-сортировок и транспортеров осуществляется через трансмиссию от двигателя внутреннего сгорания или электродвигателя, расположенного на этой же раме.

Производительность агрегата 5-6 тонн в час. Агрегат обслуживает 5 рабочих.

В 1953 году Алтайский научно-исследовательский институт земледелия и животноводства построил трехвеялочный агрегат с механизированной подачей неочищенного зерна в веялки и очищенного зерна в бункер, из которого оно самотеком поступает в машину. В 1954 году заводом транспортного и тяжелого машиностроения в кооперации с другими заводами края было построено пятьсот пятьдесят трехвеялочных агрегатов, аналогичных трехвеялочному агрегату Алтайского научно-исследовательского института земледелия и животноводства [6]

Под руководством проф., д. с.-х. н. Г. Т. Павловского в 1950-1951 годах был разработан очистительно-сушильный агрегат для очистки и сушки семенного материала, который применялся в опытно-семеноводческом колхозе «Борец» Московской области (фото 5).

Фото 5 – Агрегат для очистки и сушки зерна с передвижными машинами
Photo 5 – Grain cleaning and drying unit with mobile machines

В состав агрегата входят две веялки с транспортером, две зерносушилки, резервный бункер, бункер очищенного зерна с норией, желоб со шнеком, норией и контрприводом, самотечные трубы.

Привод агрегата осуществляется от четырех самостоятельных электродвигателей.

Процесс очистки и сушки зерна происходит следующим образом. Зерно, доставляемое от комбайнов, выгружается у засыпного ковша первой веялки-сортировки. Зерновой материал загружается в ковш вручную, откуда элеватором транспортируется на веялку-сортировку, где подвергается первичной очистке. Очищенное зерно подается элеваторами в резервный бункер, из которого выпускается по двум самотечным трубам в обе зерносушилки одновременно. При этом поступление зерна в ковш зерносушилок происходит автоматически.

Из зерносушилок высушенное зерно поступает в желоб и шнеком перемещается к элеватору, а последним поднимается в приемный ковш второй веялки-сортировки, где производится вторичная очистка зерна после подсушки. Очищенное зерно транспортируется элеваторами в сборный бункер, из которого по мере наполнения выгружается самотеком в автомашины.

В результате дальнейшего совершенствования способов послеуборочной обработки семенного материала в колхозе «Борец» Московской области в 1952 году был построен и исследован зерноочистительно-сушильный пункт с двумя поточными линиями на базе существующего оборудования. Зерноочистительно-сушильный пункт предназначался для очистки и сушки семян сельскохозяйственных культур в потоке.

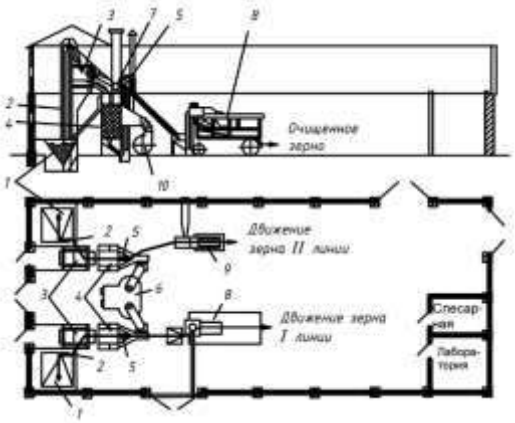


Рисунок 3 – Схема зерноочистительно-сушильного пункта: 1 – приемный бункер; 2, 5 – нории; 3 – веялка; 4 – зерносушилка; 6 – сушилка; 7 – механическая передача; 8, 9 – зерноочистительные машины; 10 – вентилятор сушилки
Figure 3 – Layout of a grain cleaning and drying facility: 1 – receiving hopper; 2, 5 – conveyors; 3 – threshing machine; 4 – grain dryer; 6 – dryer; 7 – mechanical transmission; 8, 9 – grain cleaning machines; 10 – dryer fan

Он позволяет обрабатывать одновременно две разные культуры. Зерноочистительно-сушильные линии размещены в специальном здании так, что прием неочищенного зерна осуществляется с двух сторон здания для каждой линии отдельно, а выдача очищенного и просушенного зерна – в одном месте, в середине здания (фото 6).

Фото 6 – Зерноочистительно-сушильный пункт
Photo 6 – Grain Cleaning and Drying Facility

Применение двух линий в зерноочистительно-сушильном пункте позволяло не только одновременно обрабатывать семена различных культур, но и организовывать различные схемы обработки в зависимости от влажности исходного материала.

Производительность пункта при обработке пшеницы характеризуется следующими данными:

- при очистке и сушке зерна влажностью до 21 % – до 3 т/ч;
- при очистке и двукратной сушке зерна влажностью более 21 % – 2 т/ч;
- при очистке и сортировке зерна нормальной влажности (без сушки) – 4,5 т/ч.

В период уборки урожая на току очищали, высушивали и сортировали до 1800 тонн семян. Пункт обслуживался пятью рабочими.

Мобильность зерно-семяочистительных машин менялась в соответствии с развитием технологий обработки зерна [8, 11, 12]:

- переносные машины (первые веялки, применявшиеся преимущественно до 1930 гг.);
- передвижные машины (1930-1960 гг.);
- самопередвижные (1950 г. по настоящее время)
- стационарные (в составе агрегатов и зерно-семяочистительных комплексов).

Несмотря на то, что в 50-х годах уровень технологического и технического развития зерно-семяочистительной техники позволял создавать агрегаты и комплексы по обработке зерна, однако, несмотря на это, в стране практически все зерно обрабатывалось на токах (фото 7).

Фото 7 – Первые самопередвижные ворохоочистители ОВП-20 на очистке комбайнового зерна, находящегося в бурте
Photo 7 – The first self-propelled heap cleaners OVP-20 for cleaning combine grain located in a heap

Вспомогательные технологические операции – подача исходного материала в машину, отгрузка фракций очистки, их затаривание или формирование буртов – проводились, в основном, вручную.

С устойчивым ростом объемов производства зерна такой уровень механизации послеуборочной обработки уже не мог удовлетворять сельскохозяйственное производство, в связи с этим в 1960-х годах внедряется поточная технология послеуборочной обработки зерновых материалов. Такая технология, как правило, включает в основном четыре последовательные операции: предварительную очистку комбайнового материала, первичную и вторичную очистку, окончательную очистку и сортировку. В последнее время в ряде случаев первичную и вторичную очистку объединяют в один процесс.

Научно-исследовательские работы по исследованию физических свойств семян, а также проектированию унифицированных поточных линий в виде зерноочистительных агрегатов и зерноочистительно-сушильных комплексов максимальной заводской готовности производительностью 5; 10; 20 т/ч, были завершены к началу 1970 гг. Позже к ним разрабатывались семенные приставки производительностью 5 и 10 т/ч. Зерноочистительные агрегаты и комплексы поставлялись в хозяйства всех почвенно-климатических зон страны в максимальной заводской готовности (таблица 1) [7, 13].

Таблица 1 – Технические характеристики зерноочистительных агрегатов и комплексов
Table 1 – Technical characteristics of grain cleaning units and complexes

Показатели / Indicators	ЗАВ-25	ЗАВ-40	ЗАВ-50	КЗС-20Ш	КЗС-25	КЗС-40Ш
Производительность, т/ч / Performance, t/h	25	40	50	16	20	16
Установленная мощность, кВт / Installed capacity, kW	81	45,4	148	131,5	221	160,1
Габаритные размеры основного сооружения, м / Dimensions of the main structure, m: длина / length ширина / width высота / height	 19,6 8,4 13,7	 13,6 8,4 10,4	 36,0 8,5 13,7	 25,7 11,3 16,0	 26,3 18,5 17,0	 25,7 8,4 16,0
Масса машин и оборудования, т / Weight of machinery and equipment, t	41,0	22,3	74,5	38,9	69,0	51,5
Удельная металлоемкость, т·ч/т / Specific metal consumption, t·h/t	1,64	0,56	1,49	2,43	3,45	3,22
Удельный расход энергии, кВ·ч/т / Specific energy consumption, kWh/t	3,24	1,14	2,96	8,3	11,05	10,01

Для обработки семян зерновых культур на зерновых агрегатах характерно следующее:

- высокая стоимость обработки;
- повышенная травмируемость семян вследствие большой протяженности семяпроводов и применяемых неадаптированных машин к обработке семян;

- большие количественные и качественные потери семян из-за усложненных настроек оптимальных режимов работы;
- засорение семян семенами культурных растений предшествующего обрабатываемого материала.

Сложившаяся ситуация в послеуборочной обработке семян обусловлена историческими предпосылками развития поточных технологий в России. На протяжении многих лет в процессе разработки зерно-семяочистительных машин основными приоритетами были производительность машин и высокая унификация, а агротехнологические требования к семенным машинам часто не учитывались, так как это приводило к удорожанию самих машин, а также к затяжке сроков постановки машин на производство в соответствии с планами.

В настоящее время в промышленном семеноводстве послеуборочная обработка семян – это эффективный и действенный процесс направленного повышения качества семян и подготовки их к безопасному хранению [17, 20].

Обработка семян должна проводиться с целью повышения качества партии семян за счет использования физических характеристик семян, а также компонентов собранной семенной массы. Три основных процесса – кондиционирование, сортировка, а также применение защитных веществ или обогащение питательными веществами должны осуществляться в процессе послеуборочной обработки семян в соответствии с национальными и международными стандартами на семена.

Планирование и проведение системных междисциплинарных научно-исследовательских работ направленных на совершенствование технологий подготовки семян, а также создание необходимой техники – задача первостепенной важности повышения эффективности и устойчивости зернопроизводства.

Выводы. Технологические приемы и принципы машинной подготовки семян мало изменились за последние 30-70 лет. Сегодняшние машины для подготовки семян работают, в основном, на тех же принципах, что и сто лет назад.

В период 1917-1950 гг. в НИИ и вузах страны был изучен и обобщен отечественный и зарубежный опыт, проведено исследование процессов обработки свежеубранного зерна, разработаны методы расчета рабочих органов и отдельных процессов и технические требования к зерноочистительным машинам. Благодаря этому зарождались предпосылки создания технологий обработки зерна в потоке, а, следовательно, и для существенного повышения экономической эффективности послеуборочной обработки зерна в хозяйствах.

В начале 50-х годов актуальной была задача повышения эффективности работы многочисленного парка веялок и сортировок, получивших большое распространение в колхозах и совхозах. В это время была предпринята успешная попытка на базе веялок-сортировок создать различные варианты стационарных технологий обработки зерна и подготовки семян. Эти разработки нашли отражение в создании различных зерноочистительных агрегатов и сушильных пунктов, которые позволили существенно сократить затраты труда, повысить производительность послеуборочной обработки, а также послужили основой для дальнейшего развития поточных технологий подготовки семян.

Выполненные в течение 1917-1955 годов исследования позволили разработать начальные положения организации и технологии поточной послеуборочной обработки зерна, характеризуемой неразрывностью всех стадий обработки в соответствии с технологическим процессом и коротким производственным циклом. Основу поточной обработки составили комплексы машин и оборудования на полевых токах, зерноочистительных и зерноочистительно-сушильных пунктах колхозов и совхозов.

В начале 60-х годов XX века были научно обоснованы и разработаны технологические основы поточной машинной обработки зерна и семян, позволившие принципиально изменить технический и социальный характер производства.

Развитие поточных технологий послеуборочной обработки зерна было обусловлено в основном факторами интенсификации зернопроизводства и его экономической эффективности:

- интенсивным ростом поступления зерна с поля из-за увеличения урожайности и объемов производства зерна;
- повышением производительности комбайно-транспортного комплекса;
- внедрением высокопроизводительных высокотемпературных сушилок;
- увеличением объемов зернохранилищ;
- необходимостью уменьшения трудовых затрат в процессе послеуборочной обработки.

Вследствие доминирующего влияния факторов интенсификации и экономической эффективности на развитие поточных технологий подготовки семян в процессе разработки и совершенствования процессов послеуборочной обработки семян основное внимание уделялось

вопросам уменьшения количественных потерь. При этом поточные технологии, реализованные в семействах поставляемых промышленностью агрегатов и комплексов, а также семенных приставках к ним, не обеспечивали требуемого повышения качества семян.

Дальнейшее развитие поточных технологий подготовки семян должно основываться на критериях, связанных с качеством семян и в первую очередь – их продуктивными и посевными свойствами.

Conclusions. Technological methods and principles of machine-based seed preparation have not changed much over the past 30-70 years. Today's seed preparation machines operate primarily on the same principles as they did a century ago.

During the period from 1917 to 1950, research institutes and universities in the country studied and summarized domestic and foreign experience, conducted research on the processing of freshly harvested grain, and developed methods for calculating working parts and individual processes, as well as technical requirements for grain cleaning machines. This created the preconditions for the development of technologies for processing grain in the field, which significantly increased the economic efficiency of post-harvest grain processing on farms.

In the early 1950s, the task of improving the efficiency of the numerous fleet of winnowers and classifiers, which were widely used in collective and state farms, was a pressing issue. At this time, a successful attempt was made to use winnowers and classifiers to create various stationary technologies for grain processing and seed preparation, which led to the development of various grain cleaning units and drying facilities. These technologies significantly reduced labor costs, increased the productivity of post-harvest processing, and laid the foundation for the further development of flow-based seed preparation technologies.

Research conducted between 1917 and 1955 allowed for the development of initial provisions for the organization and technology of continuous post-harvest grain processing, characterized by the continuity of all processing stages in accordance with the technological process and a short production cycle. The basis of continuous processing was formed by complexes of machines and equipment at field threshing floors, grain cleaning and grain cleaning and drying facilities of collective and state farms.

In the early 1960s, the technological foundations of continuous machine processing of grain and seeds were scientifically substantiated and developed, which allowed for a fundamental change in the technical and social nature of production. The development of continuous technologies for post-harvest grain processing was primarily driven by factors related to the intensification of grain production and its economic efficiency:

- the rapid increase in grain production due to higher yields and volumes;
- the improvement of the combine harvester-transport system;
- the introduction of high-performance high-temperature dryers;
- increasing the volume of grain storage facilities;
- the need to reduce labor costs during post-harvest processing.

Due to the dominant influence of the factors of intensification and economic efficiency on the development of flow technologies for seed preparation, the main focus was on reducing the quantity of processed seeds during the development and improvement of post-harvest processing and seed preparation processes. However, the flow technologies implemented in the families of industrial-supplied units and complexes, as well as the seed attachments, did not provide the required improvement in seed quality.

The further development of flow-based seed preparation technologies should be based on criteria related to seed quality and, above all, their productive and sowing properties.

Библиографический список

1. Анискин В. И., Зюлин А. Н. Развитие зерноочистительной техники. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 1. С. 6-8

2. Бурков А. И. Разработка и совершенствование пневмосистем зерноочистительных машин: монография. Киров, 2016, 380 с.

3. Галкин В. Д., Галкин А. Д. Технологии, машины и агрегаты послеуборочной обработки зерна и подготовки семян. Пермь: ИПЦ «Прокростъ», 2021. 234 с.

4. Дринча В. М., Дондоков Ю. Ж. Аммосов И. Н., Слепцов Н. Е. Проблемы и перспективы совершенствования процессов пневмосепарации зерна. Бюллетень АГАТУ. 2023. No 4 (12). С. 92-101

5. Дринча В. М., Ценч Ю. С. Эволюция зерно- и семяочистительной техники в России. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. N 1. С. 24-33.

6. Иванов Н. М., Стрикунов Н. И., Леканов С. В. Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян. История развития. Новосибирск. 2012. 106 с.

7. Леканов С. В., Стрикунов Н. И. Модернизированный вариант типового зерноочистительного агрегата. Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Барнаул, 2022. С. 52-54.

8. Леканов С. В., Стрикунов Н. И. Разработка и внедрение в производство новых технических решений для технологий послеуборочной обработки зерна. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (221). С. 98-104.

9. Летошнев М. Н. Очистка и сортирование семенного материала, и зерноочистительные машины. Л.: Гос. институт опытной агрономии, 1929. С. 28.

10. Павловский Г. Т. Технологические основы проектирования поточных процессов уборки и послеуборочной обработки урожая зерновых культур. Труды ВИМ. 1953. Т. 46. С. 195-211.

11. Смелик В. А., Новиков М. А., Перекопский А. Н., Ерошенко Л. И. Послеуборочная обработка зерна и семян в условиях регионов повышенного увлажнения: монография. СПб.: СПбГАУ, 2023. 162 с.

12. Стрикунов Н. И., Леканов С. В., Ровенских А. В. Поточная линия для послеуборочной обработки зерна и семян. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 1 (9). С. 37-39.

13. Стрикунов Н. И., Леканов С. В. Технологические основы компоновки оборудования семяочистительных линий. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (207). С. 99-104.

14. Ульрих Н. Н. У истоков механизации предпосевной подготовки семян и послеуборочной обработки зерна. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. № 4. 19-26.

15. Ямпилов С. С. Технологические и технические решения проблемы очистки зерна решетами. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. 165 с.

16. Drincha V. M., Tsench Yu. S. Fundamentals and Prospects for the Technologies Development for Post-Harvest Grain Processing and Seed Preparation. Agricultural Machinery and Technologies. 2020. Vol. 14. No 4. Pp. 17-25.

17. Khishigjargal Ganzorig et al. Research study on seed physical property of Mongolian wheat varieties. Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. 2022. Vol. 62. No 02 (242). Pp. 28-35.

18. Lazykyn V., Burkov A., Glushkov A., Mokiyev V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. Engineering for rural development. Jelgava, 2021. Pp. 181-186.

19. Poonia T. C. History of seed production and its key issues. International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences. 2013. Vol. 3 (1). Pp. 148-154.

20. Sinha J. P. et al. Seed Processing for Quality Upgradation. Seed Science and Technology. 2023. Pp. 213-237.

References

1. Aniskin V. I., Zyulin A. N. Development of grain cleaning equipment. Tractors and agricultural machines. 2005. No 1. Pp. 6-8

2. Burkov A. I. Development and improvement of pneumatic systems of grain cleaning machines: monograph. Kirov, 2016, 380 p.

3. Galkin V. D., Galkin A. D. Technologies, machines, and units for post-harvest grain processing and seed preparation. Perm: IPTs Prokrost, 2021. 234 p.

4. Drincha V. M., Dondokov Yu. Zh. Ammosov I. N., Sleptsov N. E. Problems and Prospects of Improving the Processes of Grain Pneumatic Separation. Bulletin of AGATU. 2023. No 4 (12). Pp. 92-101.

5. Drincha V. M., Tsench Yu. S. Evolution of Grain and Seed Cleaning Equipment in Russia. Agricultural Machinery and Technologies. 2021. Vol. 15. No 1. Pp. 24-33.

6. Ivanov N. M., Strikunov N. I., Lekanov S. V. Mobile equipment and technologies for post-harvest grain and seed processing. History of development. Novosibirsk. 2012. 106 p.

7. Lekanov S. V., Strikunov N. I. Upgraded version of a typical grain cleaning unit. Agrarian science for agriculture: collection of materials of the XVII International Scientific and Practical Conference. Barnaul, 2022. Pp. 52-54.

8. Lekanov S. V., Strikunov N. I. Development and introduction of new technical solutions for post-harvest grain processing technologies into production. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2023. No 3 (221). Pp. 98-104.

9. Letoshnev M. N. Purification and Sorting of Seed Material, and Grain Cleaning Machines. Leningrad: State Institute of Experimental Agronomy, 1929. P. 28.

10. Pavlovsky, G. T. Technological Foundations of Designing Flow Processes for Harvesting and Post-Harvest Processing of Grain Crops. Proceedings of the Institute of Microbiology. 1953. Vol. 46. Pp. 195-211.

11. Smelik V. A., Novikov M. A., Perekopsky A. N., Eroshenko L. I. Post-harvest processing of grain and seeds in regions with high humidity: monograph. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University, 2023. 162 p.

12. Strickunov N. I., Lekanov S. V., Rovenskikh A. V. A flow line for post-harvest processing of grain and seeds. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2003. No 1 (9). Pp. 37-39.

13. Strickunov N. I., Lekanov S. V. Technological Foundations of the Layout of Seed Cleaning Lines. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022. No 1 (207). Pp. 99-104.

14. Ulrich N. N. At the Origins of Mechanization of Seed Pre-Sowing Preparation and Post-Harvest Grain Treatment. Mechanization and Electrification of Agriculture. 1980. No 4. 19-26.

15. Yampilov S. S. Technological and Technical Solutions to the Problem of Grain Cleaning with Screens. Ulan-Ude: Publishing House of VSGUTU, 2004. 165 p.

16. Drincha V. M., Tsench Yu. S. Fundamentals and Prospects for the Technologies Development for Post-Harvest Grain Processing and Seed Preparation. Agricultural Machinery and Technologies. 2020. Vol. 14. No 4. Pp. 17-25.

17. Khishigjargal Ganzorig et al. Research study on seed physical property of Mongolian wheat varieties. Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences. 2022. Vol. 62. No 02 (242). Pp. 28-35.

18. Lazykyn V., Burkov A., Glushkov A., Mokiyev V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. Engineering for rural development. Jelgava, 2021. Pp. 181-186.

19. Poonia T. C. History of seed production and its key issues. International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences. 2013. Vol. 3 (1). Pp. 148-154.

20. Sinha J. P. et al. Seed Processing for Quality Upgradation. Seed Science and Technology. 2023. Pp. 213-237.

Информация об авторах

Дондоков Юрий Жигмитович, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш., 3-й км, 3), e-mail: ooo-centaurus@mail.ru

Афанасьева Татьяна Ивановна, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш., 3-й км, 3), e-mail: tanafan42@gmail.com
Стрикунов Николай Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет» (Российская Федерация, 656049, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98), e-mail:strikunov555@mail.ru
Дринча Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш., 3-й км, 3), ORCID 0000-0003-1083-5370, e-mail: vdrincha@list.ru
Борисенко Иван Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru
Тарасов Иван Максимович, аспирант, ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет» (Российская Федерация, 677007, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Сергеляхское ш., 3-й км, 3).

Authors' Information

Dondokov Yuriy Zhigmitovich, Candidate of Engineering Science, Arctic State Agro-technological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoe highway, 3rd km, 3), e-mail: ooo-centaurus@mail.ru
Afanasyeva Tatyana Ivanovna, Senior Lecturer, Arctic State Agro-technological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoe highway, 3rd km, 3), e-mail: tanafan42@gmail.com
Strikunov Nikolai Ivanovich, Candidate of Engineering Science, Altai State Agrarian University (Russian Federation, 656049, Altai region, Barnaul, Krasnoarmeysky Avenue, 98), e-mail:strikunov555@mail.ru
Drincha Vasilii Michailovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Arctic State Agro-technological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoe highway, 3rd km, 3), ORCID 0000-0003-1083-5370, e-mail: vdrincha@mail.ru
Borisenko Ivan Borisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: borisenivan@yandex.ru
Tarasov Ivan Maksimovich, Postgraduate Student, Arctic State Agro-technological University (Russian Federation, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Sergelyakhskoe highway, 3rd km, 3).

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-66

THE DATA PROCESSING COMPOSITION AND ALGORITHM IN THE SYSTEM OF THE IRRIGATED LANDS ECOLOGICAL AND LAND RECLAMATION MONITORING

Lytov M. N.

Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Received. 08.04.2026 Submitted 06.05.2026

The research was carried out according to the state task plan of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FNFR-2025-0003 "Monitoring of long-term irrigated agricultural landscapes to predict their condition, manage environmental sustainability and productivity using digital technologies in adaptive farming systems", registration number: 1022041300043-4-4.1.1.

Summary

The requirements and the system of indicators of ecological and land reclamation monitoring of irrigated lands are substantiated, the algorithm of processing of monitoring data allowing to predict risks, to estimate a structure of anthropogenic loadings with justification of ecologically balanced agricultural technologies is developed.

Abstract

Introduction. The urgency of the problem is determined by persistent unfavorable global trends in changes in the condition of the most valuable, irrigated lands, and an increase in the segment of reclaimed areas with reduced productivity potential. In Russia, in the post-industrial period of land reclamation development, the problem of land reclamation is not so acute, but the risks of reducing soil fertility remain quite high. Of the 4.66 million hectares of registered irrigated land, 1.7 million hectares are actually irrigated, and more than 800 thousand hectares are in poor condition. The purpose of the research is to develop conceptual approaches to the organization, substantiate the composition and algorithm of data processing for ecological and land reclamation monitoring of irrigated lands. **Object.** The object of research is methods for assessing ecological and land reclamation risks and forecasting the condition of irrigated lands, the composition of the initial data and algorithms for their processing. **Materials and methods.** The research materials include published, including standardized, methods for studying the ecological and reclamation status of irrigated lands and spatially associated territories, zonal characteristics of natural objects, scientific approaches to assessing the degradation of agricultural lands, and methods for obtaining and analyzing data. The result of systematic research on ecological and land reclamation monitoring of agricultural landscapes are arrays of objective assessment data for the entire set of indicators characterizing the state of the ecosystem. In this regard, an important task is to identify effective algorithms for analyzing the data obtained in order to gain new knowledge, assess environmental and land reclamation risks, normalize anthropogenic

load, long-term forecasts of ecosystem development and optimize farming systems. **Results and conclusions.** The requirements and a system of indicators for ecological and land reclamation monitoring are substantiated, including assessments of the meteorological complex (environment), landscape complex (framework), anthropogenic pressure (activity) and the condition of the research objects (response). Within the framework of the monitoring system, the research covers the objects of the hydrosphere (surface and groundwater, precipitation), lithosphere (soil, soil-forming and underlying rocks) and biosphere (producers, consultants, reducers). An algorithm for processing monitoring information has been developed, which has two interconnected computational branches. The study of processes and forecasting of risks in relation to the structure of anthropogenic pressure allows us to justify the choice/design of agricultural technologies for ecologically balanced systems of irrigated agriculture.

Keywords: *irrigated lands, land reclamation status, ecology of agricultural landscapes, monitoring of irrigated lands, indicator systems.*

Citation. Lytov M. N. The data processing composition and algorithm in the system of the irrigated lands ecological and land reclamation monitoring. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 600-609 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-66.
Authors' contribution. The athor of this study mentioned in the article was directly involved in the planning, execution and analysis of this study.The author of this article have reviewed and agreed on the final version presented.
Conflict of interests. The author declare that there is no conflict of interest.

УДК 631.67:631.6.02

СОСТАВ И АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Лытов М. Н., *кандидат сельскохозяйственных наук*

ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследования проведены по плану государственного задания Минобрнауки России FNFR-2025-0003 «Мониторинг длительно орошаемых агроландшафтов для прогнозирования их состояния, управления экологической устойчивостью и продуктивностью с использованием цифровых технологий в адаптивных системах земледелия», регистрационный номер: 1022041300043-4-4.1.1.

Актуальность. Актуальность проблемы определяется устойчивыми неблагоприятными глобальными трендами изменения состояния наиболее ценных орошаемых земель, увеличения сегмента мелиорированных площадей со сниженным потенциалом продуктивности. В России в постиндустриальный период развития мелиораций проблема мелиоративного состояния земель стоит не так остро, однако риски снижения плодородия почвы остаются достаточно высокими. Из 4,66 млн га учтенных орошаемых земель фактически поливается 1,7 млн га, а более 800 тыс. га находятся в неудовлетворительном состоянии. Цель исследований – разработать концептуальные подходы к организации, обосновать состав и алгоритм обработки данных эколого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель. **Объект.** Объектом исследований являются методы оценки эколого-мелиоративных рисков и прогнозирования состояния орошаемых земель, состав исходных данных и алгоритмы их обработки. **Материалы и методы.** Материалами исследований являются опубликованные, в том числе стандартизированные, способы изучения эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель и пространственно-сопряженных с ними территорий, зональные характеристики природных объектов, научные подходы к оценке деградации сельскохозяйственных угодий, способы получения и анализа данных. Результатом системных исследований по эколого-мелиоративному мониторингу агроландшафтов являются массивы данных объективных оценок по всей совокупности показателей, характеризующих состояние экосистем. В этом плане важной задачей является определение эффективных алгоритмов анализа полученных данных с целью получения новых знаний, оценки эколого-мелиоративных рисков, нормирования антропогенной нагрузки, длительных прогнозов развития экосистемы и оптимизации систем земледелия. **Результаты и выводы.** Обоснованы требования и система показателей эколого-мелиоративного мониторинга, включающего оценку метеорологического комплекса (среда), ландшафтного комплекса (каркас), антропогенного давления (деятельность) и состояния объектов исследования (отклик). В рамках системы мониторинга исследованиями охвачены объекты гидросферы (поверхностные и грунтовые воды, осадки), литосферы (почва, почвообразующие и подстилающие породы) и биосферы (продуценты, консументы, редуценты). Разработан алгоритм обработки мониторинговой информации, который имеет две взаимосвязанные вычислительные ветви. Исследование процессов и прогнозирование рисков во взаимосвязи со структурой антропогенного давления позволяет обосновать выбор/конструирование агротехнологий для экологически сбалансированных систем орошаемого земледелия.

Ключевые слова: *орошаемые земли, мелиоративное состояние земель, экология агроландшафтов, мониторинг орошаемых земель, системы показателей.*

Цитирование. Лытов М. Н. Состав и алгоритм обработки данных в системе эколого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 600-609. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-66.
Авторский вклад. Автор настоящего исследования, указанного в статье принимал прямое участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и согласовал представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Актуальность проблемы определяется устойчивыми неблагоприятными глобальными трендами изменения состояния наиболее ценных орошаемых земель, увеличения сегмента мелиорированных площадей со сниженным потенциалом продуктивности [1-3]. По данным ФАО ООН[10], уже подтвержденные в настоящем процессы аридизации климата активизируют засоление земель, площадь которых, согласно прогнозу к 2050 г., в мире увеличится в 2,5-3,0 раза. Это означает, что проблема мелиоративного благополучия земель в перспективе только возрастает.

Проблема усугубляется тем, что одна из ведущих ролей в обеспечении устойчивости сельского хозяйства и адаптации к изменениям климата сегодня отводится именно мелиорации и, в первую очередь, орошению [4-7]. Задача сохранения мелиоративного благополучия и продуктивного долголетия орошаемых земель в этих условиях становится приоритетной.

В России в постиндустриальный период развития мелиораций проблема мелиоративного состояния земель стоит не так остро, однако риски снижения плодородия почвы остаются достаточно высокими. Процессы глобального потепления и аридизации климата в России выражены более значительно, чем в среднем по планете [5, 6, 8]. Реализация программы развития мелиоративного комплекса РФ[11] впервые в постсоветской России позволила возобновить рост орошаемых площадей. Однако и сегодня из 4,66 млн га учтенных орошаемых земель фактически поливается 1,7 млн га, а более 800 тыс. га находятся в неудовлетворительном состоянии [9, 10].

Практический смысл эколого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель состоит, прежде всего, в повышении эффективности и обеспечении наиболее полного использования потенциала мелиораций, предотвращении развития негативных процессов на основе изучения, прогнозирования состояния, управления экологической устойчивостью и продуктивностью мелиорированных агроландшафтов. Система показателей, оценка которых должна проводиться для любого из объектов исследований, формируется исходя из необходимости решения этих первоочередных задач, являясь в своей сути исходными данными для вычислительных методов или индикаторами, характеризующими эколого-мелиоративную ситуацию.

Цель исследований – разработать концептуальные подходы к организации, обосновать состав и алгоритм обработки данных эколого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель.

Материалы и методы. Материалами исследований являются опубликованные, в том числе стандартизированные, способы изучения эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель и пространственно-сопряженных с ними территорий, зональные характеристики природных объектов, научные подходы к оценке деградации сельскохозяйственных угодий, способы получения и анализа данных [2, 3, 9, 11-14]. Как инструмент гармонизации развития мелиорированных агроландшафтов, система мониторинга должна включать показатели, которые являются критериями или составляют функцию оптимизации процессов, определяющих вектор этого развития. Можно выделить три направления, которые определяют состав показателей и стратегию исследований в зависимости от уровня конкретизации цели и используемых методов обработки информации:

- мониторинг эколого-мелиоративного состояния мелиорированных агроландшафтов и динамики антропогенно-обусловленной трансформации процессов при длительном орошении земель. Главной целью мониторинга в этом случае является получение новых знаний о взаимосвязях процессов в различных компонентах агроландшафта;

[10] FAO. 2024. Global status of salt-affected soils – Main report. Rome. https://doi.org/10.4060/cd3044en
[11] [2]Постановление Правительства РФ от 14 мая 2021 г. N 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации».

- мониторинг рисков эколого-мелиоративного благополучия длительно орошаемых земель и других компонентов агроландшафта. Это предметно-конкретизированная форма мониторинга мелиорированных агроландшафтов. Целью такого мониторинга является оценка риска потери устойчивости экосистемы и деградации земель по какому-то преобладающему (рисковому) эколого-мелиоративному фактору. Система показателей такого рода мониторинга специализированная, предназначена для оценки развития вполне определенных процессов, в том числе содержит критерии эколого-мелиоративного благополучия или реализации риска;

- моделирование и прогноз, разработка многолетних сценариев развития экосистемы в границах мелиорированного агроландшафта. Это мощный инструмент, базирующийся на имеющихся знаниях функционирования системы и позволяющий «работать» на опережение, формируя долговременный тренд развития, включающий повышение продуктивности орошаемых земель и устойчивости мелиорированных агроландшафтов. Использование математических моделей также имеет, как правило, тематическую направленность (специализацию) и позволяет сформировать прогноз по одному или нескольким показателям, количественно характеризующим развитие или стагнацию экосистемы. Используемые показатели эколого-мелиоративного мониторинга в этом случае являются входными данными модели.

Эколого-мелиоративный мониторинг агроландшафтов предполагает многоплановую работу, включающую инструментальные методы исследований [15]. Результатом системных исследования по эколого-мелиоративному мониторингу агроландшафтов являются массивы данных объективных оценок по всей совокупности показателей, характеризующих состояние экосистемы. В этом плане важной задачей является определение эффективных алгоритмов анализа полученных данных с целью получения новых знаний, оценки эколого-мелиоративных рисков, нормирования антропогенной нагрузки, длительных прогнозов развития экосистемы и оптимизации систем земледелия.

Объектом исследований являются качественные характеристики эколого-мелиоративного состояния орошаемых земель, в том числе характеризующие плодородие почвы и производственный потенциал техно-природных комплексов сельскохозяйственного использования. Предмет исследований – методы оценки эколого-мелиоративных рисков и прогнозирования состояния орошаемых земель в зависимости от условий их хозяйственного использования, состав исходных данных и алгоритмы их обработки.

Результаты и обсуждение. Анализ современной практики оценки потенциала плодородия почвы и возможностей его расширенного воспроизводства в мелиорированных комплексах определяет следующие основные требования к системе показателей мониторинга длительно орошаемых земель:

- система показателей должна обеспечить возможность исследования взаимосвязей, процессов, закономерностей на уровне мелиорированных агроландшафтов. Изучение процессов в системе агроландшафта или относительно локального орошаемого участка предполагается, прежде всего, по значимым (в региональном аспекте) направлениям, а также в отношении выпадающих за пределы системной логики явлений;

- система показателей должна обеспечить исходными данными возможность моделирования процессов и составления прогнозов эколого-мелиоративного состояния земель на долгосрочный период. Кроме требований непосредственно к составу показателей необходимо соблюдать условия сбора информации, такие как выбор динамических площадок, периодичность, повторность и др.;

- система показателей должна обеспечить возможность оценки эколого-мелиоративных рисков и развития процессов деградации орошаемых земель в мелиорированных агроландшафтах. В составе показателей мониторинга должны быть включены критерии оценки эколого-мелиоративных рисков, либо исходные данные для их расчета.

На рисунке 1 приведена структура организации системы показателей мониторинга, которая основана на объектном подходе и соответствует приведенным требованиям. Система показателей эколого-мелиоративного мониторинга представлена четырьмя комплексами, в совокупности дающими полное представление о функционировании мелиорированного агроландшафта, и позволяющими дифференцировать массивы данных для изучения взаимосвязей. Это метеорологический и ландшафтный комплексы показателей, факторы антропогенного давления и параметры, характеризующие состояние объектов исследований в границах изучаемого агроландшафта.

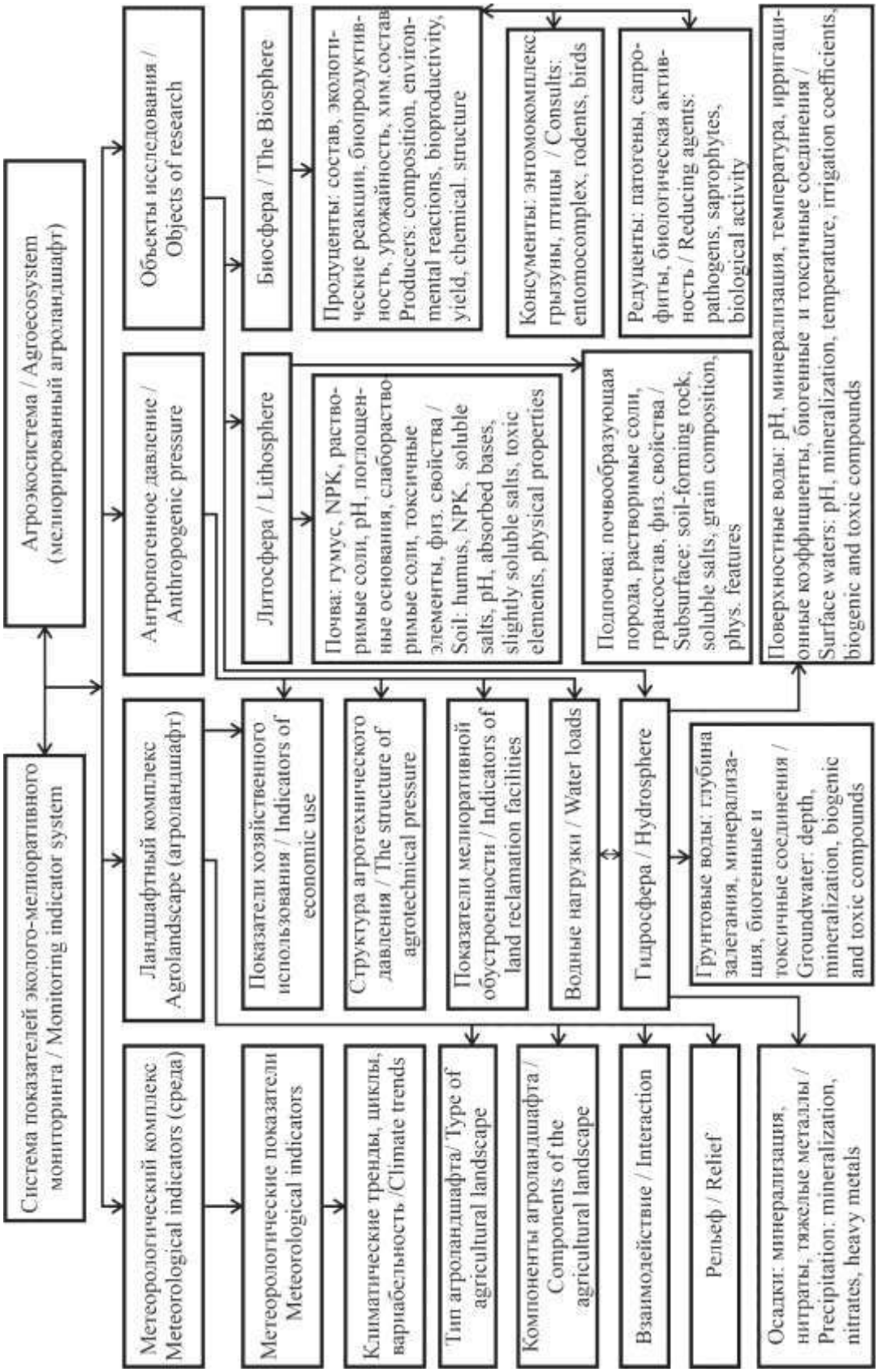


Рисунок 1 – Система показателей эколого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель
Figure 1 – The system of indicators of ecological and land reclamation monitoring of irrigated lands

Ландшафтный комплекс показателей формирует скелет системы признаков эколого-мелиоративного мониторинга длительно орошаемых земель. В составе массива данных ландшафтного комплекса приводятся сведения о типе агроландшафта и его компонентах (плакор, склон, балка, пруд, озеро и т. д.), их структурной и географической организации, сведения о рельефе местности, в совокупности определяющих взаимодействие между компонентами.

Метеорологический комплекс показателей характеризует среду, в которой формируется и функционирует агроландшафт. Показатели этого комплекса, с одной стороны, чрезвычайно волатильны, что определяет изменение биопродуктивности посевов от сезона к сезону и характеризует потребность в мелиорациях. С другой стороны всегда имеется вполне определенной коридор этой волатильности, который определяет региональные аспекты формирования плодородия почвы.

Показатели антропогенного давления позволяют оценить влияние мелиоративных и агротехнических мероприятий на плодородие почвы, продуктивность и экологическую устойчивость агроландшафтов. Качественные и количественные изменения биосферных процессов антропогенно преобразованных ландшафтов являются факторами оптимизации антропогенных нагрузок. Комплекс показателей антропогенного давления включает оценки хозяйственного использования территории в пределах мелиорированного агроландшафта (доли, характера использования), структуры агротехнических нагрузок, показателей мелиоративной обустроенности (в том числе, в части защиты окружающей среды). В системе эколого-мелиоративного мониторинга длительного орошаемых земель особое внимание требуется учету и нормированию водных нагрузок, как фактора, встраиваемого во все биосферные процессы агроэкосистемы.

Следующий комплекс показателей системы эколого-мелиоративного мониторинга предполагает изучение, непосредственно, компонентов агроландшафта. Общая структура показателей по этому комплексу предусматривает изучение объектов гидросферы, литосферы и биосферы. Грунтовые воды в системе мониторинга являются одним из объектов гидросферы, где важны такие показатели, как минерализация, состав и соотношение солей, динамика уровня, содержание загрязняющих веществ (тяжелые металлы, остатки биоцидов). При реализации ряда условий минерализованные грунтовые воды создают опасность вторичного засоления мелиорированных земель. Не менее губительным может оказаться подтопление территорий со сменой фитоценотического состава агрофитоценозов. Содержание в грунтовых водах нитратов или других токсичных элементов характеризует специфику и уровень антропогенного влияния производства на окружающую среду.

Химический состав атмосферных осадков, как в жидком, так и в твердом состоянии, является индикатором состояния окружающей среды. Поступление в почву нитратов с атмосферными осадками является одним из механизмов вовлечения атмосферного азота в биологический цикл. Однако, безусловно, наиболее важными являются оценки объема поступивших осадков, связанные с формированием водного режима почвы.

Поверхностные воды в составе объектов мелиорированных агроландшафтов воспринимают антропогенные нагрузки сельскохозяйственных угодий. Важными показателями мониторинга качества воды в таких объектах является уровень минерализации, pH, состав солей и ирригационные коэффициенты, содержание нитратов и загрязняющих веществ.

Грунтовые и поверхностные воды могут рассматриваться в качестве источника оросительной воды. В этом случае химический состав и физические показатели грунтовых и поверхностных вод следует рассматривать как факторы, характеризующие антропогенное давление на агроэкосистему. Сельскохозяйственные растения в рамках физиологических реакций чувствительны к температуре воды. Этот параметр также имеет значение при эксплуатации инженерных конструкций мелиоративной системы, так как оказывает влияние на развитие водной биоты.

Тестовые объекты литосферы предполагают проведение почвенных исследований и изучение подстилающего грунта, прежде всего, с точки зрения сохранения эколого-мелиоративного равновесия, почвообразования, сохранения и расширенного воспроизводства плодородия и продуктивности мелиорированных земель в целом. Изучение факторов, оказывающих влияние на состояние почвенного покрова, длительное сохранение плодородия земель является одной из ключевых задач мониторинга мелиорированных земель. Есть целый комплекс показателей, которые позволяют характеризовать состояние почвы.

Неотъемлемой составляющей почвы является органическое вещество, однако важно не только его содержание, но и состав. От этого зависит потенциальное и эффективное плодородие мелиорированных земель, направленность и динамика почвообразовательных процессов. Способность почвы обеспечивать поступление свободных (доступных) форм основных питательных элементов, таких, как азот, фосфор или калий, позволяет оценить потенциальную продуктивность сельскохозяйственных посевов. Как среда для сельскохозяйственных растений почва имеет пределы валентности по уровню pH. Химия поглощенных оснований самым непосредственным образом связана с водными и физическими свойствами почвы, определяющими обеспеченность основными факторами жизни растений. Содержание и состав легкорастворимых солей определяет мелиоративное благополучие сельскохозяйственных угодий, а слаборастворимые соли, в зависимости от содержания, могут улучшать структуру или ухудшать физическое состояние почвы, оказывают влияние на фильтрацию и демпфируют миграцию химических элементов. Все эти показатели находятся в тесной взаимосвязи с минералогической основой почвы, ее водными свойствами и физическим состоянием. Только комплексное изучение этих показателей позволяет оценивать перспективы длительного и продуктивного использования мелиорированных земель, их устойчивость к антропогенным нагрузкам и способность сдерживать развитие опасных процессов.

Оценка состояния подпочвенных горизонтов необходима для понимания механизмов почвообразования, учета факторов и рисков, связанных с гидрогеологическими особенностями территории, содержанием водо- и малорастворимых солей, формированием водного режима и вертикального водообмена и т. д. Гранулометрический состав почв, компоненты, содержание и глубина размещения водо- и малорастворимых солей, почвообразующие породы, водно-физические свойства составляют тот необходимый комплекс показателей, позволяющих охарактеризовать подпочвенные горизонты на мелиорированных землях.

Показатели мониторинга объектов биосферы целесообразно комплексировать по условно-функциональным группам: продуцентов, консументов и редуцентов. В составе продуцентов особое внимание необходимо уделять показателям, характеризующим состав и структуру агрофитоценоза, особенности роста и развития растений, продукционный потенциал, а также структуру и химический состав биомассы. Ориентируясь на мелиорированный агроландшафт в целом, нужно понимать уровень биопродуктивности фитоценозов в естественной среде. Это позволит сформировать представление не только о параметрах производства и возможностях его интенсификации на мелиорированных землях, но и о формировании оборота органического вещества, биогенных элементов, возможности сохранения и расширенного воспроизводства плодородия почвы. В составе показателей, характеризующих активность редуцентов, важно понимать риски распространения патогенов, состав и активность почвенной микробиоты, соотношения микроорганизмов, определяющие направленность и динамику процессов минерализации органического вещества, гумусообразования. Необходимо учитывать, что микробиота имеет прямое отношение не только к органическому веществу почвы, но и характеризуется депонирующим потенциалом в отношении большинства биогенных элементов, содержащихся в почве. Консументы включают энтомологический комплекс агроценозов, грызунов, птиц, реже – других представителей животного мира, которые, при определенных условиях, могут стать значимым фактором формирования урожая. Наблюдение за представителями этих видов дает представление об условиях формирования сбалансированной, экологически устойчивой, высокопродуктивной экосистемы. Кроме того, распространение отдельных видов может свидетельствовать об изменении экологических условий на тех стадиях, когда объективные показатели еще не дают достоверной информации.

На рисунке 2 представлена обобщенная схема алгоритма обработки данных эколого-мелиоративного мониторинга. Главной решаемой задачей является совершенствование систем орошаемого земледелия, обеспечивающих достижение целевых показателей по продуктивности и сохранение экологического равновесия агроландшафта, баланса вещества и энергии, обеспечивающих длительное и эффективное использование мелиорированных земель. При этом важно не превышать допустимые пределы антропогенного воздействия на окружающую среду, сохранять биосферные функции, которые миллионы лет создавала и совершенствовала природа. Сбалансированная система орошаемого земле-

делия и стратегия развития агроландшафта являются целью эколого-мелиоративного мониторинга, а следовательно, и главной задачей обработки и анализа данных по предложенному алгоритму.

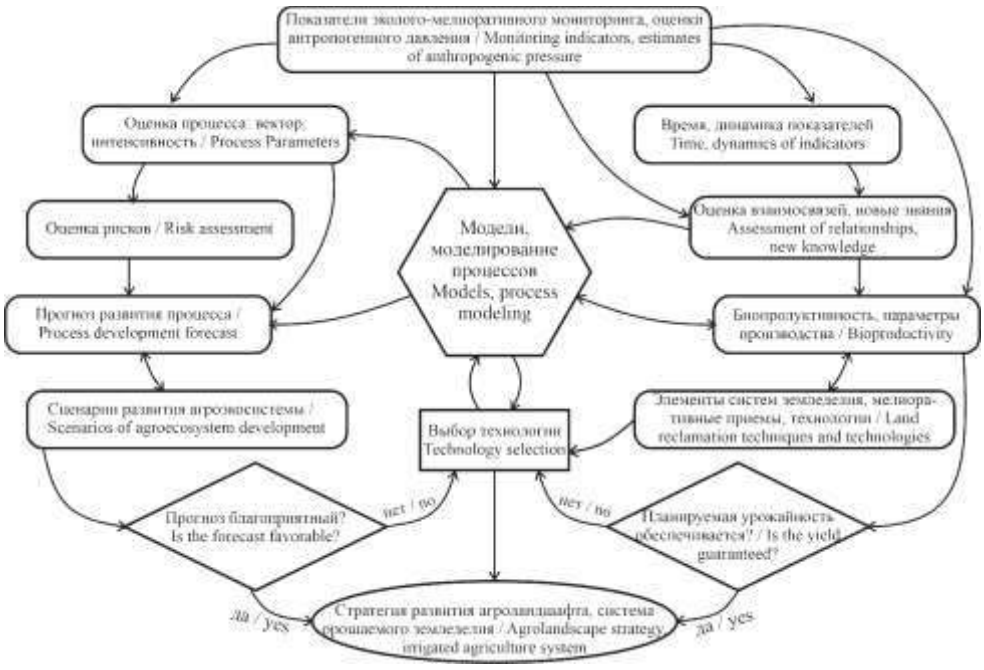


Рисунок 2 – Алгоритм обработки данных эколого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель и сопряженных территорий
Figure 2 – Data processing algorithm for ecological and land reclamation monitoring of irrigated lands and adjacent territories

Основными критериями для выбора приоритетной стратегии развития мелиорированного агроландшафта являются:

- обеспечение необходимого уровня продуктивности и устойчивости производства сельскохозяйственной продукции в границах мелиорированного агроландшафта. В этом плане допускается, что не все сельскохозяйственные угодья в рассматриваемом агроландшафте будут мелиорированы, а, следовательно, доля этих земель должна быть достаточной, чтобы обеспечить стабильное производство с учетом климатических особенностей региона. Необходимо также учитывать, что достижение целевого уровня продуктивности требует определенной антропогенной нагрузки, а это сопряжено с рисками развития процессов, дестабилизирующих агроэкосистему;

- обеспечение устойчивости агроэкосистемы. Важным показателем устойчивости агроэкосистемы является способность воспринимать антропогенные нагрузки без изменения биосферных функций. При этом допускается возможность развития агроэкосистемы, если устойчивость возрастает или, как минимум, не снижается.

Основными инструментами, позволяющими воздействовать на развитие агроэкосистемы, являются мелиоративные приемы и агротехнологии. Их оптимизация формирует сбалансированную систему земледелия и определяет развитие агроэкосистемы. Выбор таких технологий в составе единого мелиоративно-агротехнологического комплекса, в конечном итоге, и является задачей, на решение которой направлен алгоритм обработки данных эколого-мелиоративного мониторинга.

Алгоритм имеет две взаимосвязанные ветви, одна из которых связана с анализом актуального состояния объектов и взаимосвязей в системе агроландшафта на основе изучения комплекса показателей эколого-мелиоративного мониторинга, а вторая связана с исследованием процессов.

Изучение показателей, характеризующих состояние компонентов мелиорированного агроландшафта, в том числе разновременных скринов агроэкосистемы, позволяет отслеживать актуальные тренды, изучать взаимосвязи, закономерности энерго- и массообмена, получать новые количественные оценки и более глубокие знания о процессах. Ана-

лиз данных также позволяет оценивать риски нарушения эколого-мелиоративного состояния элементов агроландшафта и выявлять причины развития деструктивных процессов. Новые знания, причинно-следственные связи, новые количественные оценки могут быть использованы для разработки и верификации математических моделей, описывающих процессы внутри агроэкосистемы и внешние взаимодействия. Возможности моделирования и проведения модельных экспериментов позиционируются в качестве одной из главных функций предлагаемого алгоритма обработки данных. Алгоритм допускает возможность использования комплекса разнообразных моделей в зависимости от физических основ и характера изучаемого процесса. Помимо совершенствования моделей на основе выявленных взаимосвязей алгоритм предполагает и их тестирование для повышения точности прогноза, в том числе, в региональном аспекте. В частности, моделирование биопродуктивности посевов при заданных параметрах производства может быть оценено данными с тестовых площадок, где возделывались соответствующие сельскохозяйственные культуры. Модельные оценки направленности и интенсивности процесса можно сравнить с динамикой, установленной по разновременным тестам соответствующих показателей.

Вместе с тем, использование математических моделей, дает возможность «заглянуть дальше», чем изучение инструментально полученных данных. Моделирование позволяет составлять долговременные прогнозы развития процессов, причем не на основе тренда, а используя физически обоснованные механизмы. Вследствие этого можно рассчитывать на более точный прогноз и более обоснованно составлять сценарии развития агроэкосистемы в целом. Кроме того, используя структурные изменения систем земледелия, можно просчитывать альтернативные сценарии и выбрать оптимальную стратегию развития агроландшафта.

Заключение. Обоснованы требования и система показателей эколого-мелиоративного мониторинга, включающего оценку метеорологического комплекса (среда), ландшафтного комплекса (каркас), антропогенного давления (деятельность) и состояния объектов исследования (отклик). В рамках системы мониторинга исследованиями охвачены объекты гидросферы (поверхностные и грунтовые воды, осадки), литосферы (почва, почвообразующие и подстилающие породы) и биосферы (продуценты, консументы, редуценты). Разработан алгоритм обработки мониторинговой информации, который имеет две взаимосвязанные вычислительные ветви. Одна из вычислительных ветвей алгоритма связана с анализом актуального состояния объектов и взаимосвязей в системе агроландшафта на основе изучения комплекса показателей эколого-мелиоративного мониторинга, вторая связана с исследованием процессов. Исследование процессов и прогнозирование рисков во взаимосвязи со структурой антропогенного давления позволяет обосновать выбор/конструирование агротехнологий для экологически сбалансированных систем орошаемого земледелия.

Conclusions. The requirements and a system of indicators for ecological and land reclamation monitoring are substantiated, including assessments of the meteorological complex (environment), landscape complex (framework), anthropogenic pressure (activity) and the condition of the research objects (response). Within the framework of the monitoring system, the research covers the objects of the hydrosphere (surface and groundwater, precipitation), lithosphere (soil, soil-forming and underlying rocks) and biosphere (producers, consultants, reducers). An algorithm for processing monitoring information has been developed, which has two interconnected computational branches. One of the computational branches is related to the analysis of the current state of objects and interconnections in the agricultural landscape system based on the study of a set of indicators of ecological and land reclamation monitoring, the second is related to the study of processes. The study of processes and forecasting of risks in relation to the structure of anthropogenic pressure allows us to justify the choice/design of agricultural technologies for ecologically balanced systems of irrigated agriculture.

Библиографический список

1. Булгаков В. И., Капустина Т. А., Козлова Л. К. Анализ фактического состояния и эффективности использования мелиорируемых земель Поволжья. Экология и строительство. 2024. № 3. С. 12-19.

2. Пронько Н. А. Проблемы орошаемого земледелия Поволжья и их решение. Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 24-30.

3. Заносова В. И., Макарычев С. В., Лимонов К. А. Особенности изменений степени засоления и агрохимических показателей почвенного покрова под воздействием орошения. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (195). С. 42-48.

4. Бабаева Д. П., Оразгелдиева А. Усиление климатоустойчивости сельского хозяйства: внедрение инновационных агротехнологий. Символ науки: международный научный журнал. 2025. Т. 1. № 11-2. С. 60-61.

5. Кирейчева Л. В., Шевченко В. А. Стратегические направления адаптации мелиорации к изменению природно-климатических условий. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 5 (83). С. 34-41.

6. Новиков А. Е., Дранников А. В. Прецизионные технологии орошения в повышении устойчивости земледелия к природным изменениям. Орошаемое земледелие. 2024. № 4 (47). С. 45-50.

7. Кирейчева Л. В., Глазунова И. В. Развитие и размещение сельскохозяйственных мелиораций в изменяющихся климатических условиях. Природообустройство. 2017. № 4. С. 80-87.

8. Бухаров А. Ф., Федосов А. Ю., Иванова М. И. Воздействие на овощеводство изменений климата и способы их преодоления. Овощи России. 2023. № 3. С. 41-49.

9. Ольгаренко Г. В. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: состояние и перспективы устойчивого развития. Орошаемое земледелие. 2025. № 2 (49). С. 14-21.

10. Гришаева О. Ю. Исследование динамики площадей мелиорированных земель с инженерной инфраструктурой в нормативном технико-эксплуатационном состоянии по федеральным округам Российской Федерации. Экология и строительство. 2024. № 3. С. 39-47.

11. Адамень Ф. Ф., Коковихин С. В., Сташкина А. Ф. Влияние длительного искусственного увлажнения и разных способов полива на агрофизические показатели темно-каштановой почвы в условиях северного Причерноморья. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2025. № 42 (205). С. 122-139.

12. Крючков Н. Р., Макаров О. А. Опыт оценки ущерба от деградации почв и земель агрохозяйства Волгоградской области. Аридные экосистемы. 2024. Т. 30. № 1 (98). С. 153-162.

13. Елизаров Н. В., Попов В. В., Рыбкина И. Д., Смоленцев Б. А. Засоление и осолонцевание почв речных долин Кулундинской равнины. Почвоведение. 2023. № 10. С. 1216-1229.

14. Масютенко Н. П., Чуян Н. А., Масютенко М. Н., Кузнецов А. В. К комплексной оценке воздействия агротехнологии на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов. Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 8. С. 12-18.

15. Комарова О. П., Тихонова М. К., Московец М. В., Торопов А. Ю. Эколого-мелиоративный мониторинг водных объектов в опытной станции «Орошаемая»: проблемы и пути решения. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 3 (81). С. 125-133.

References

1. Bulgakov V. I., Kapustina T. A., Kozlova L. K. Analysis of the actual state and efficiency of use of reclaimed lands in the Volga region. Ecology and Construction. 2024. No 3. Pp. 12-19.

2. Pronko N. A. Problems of irrigated agriculture in the Volga region and their solutions. Agrarian Scientific Journal. 2022. No 11. Pp. 24-30.

3. Zanosova V. I., Makarychev S. V., Limonov K. A. Features of Changes in the Degree of Salinity and Agrochemical Indicators of the Soil Cover under the Influence of Irrigation. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2021. No 1 (195). Pp. 42-48.

4. Babaeva D. P., Orazgeldieva A. Strengthening the climate resilience of agriculture: the introduction of innovative agricultural technologies. Symbol of Science: International Scientific Journal. 2025. Vol. 1. No 11-2. Pp. 60-61.

5. Kireicheva L. V., Shevchenko V. A. Strategic directions of adaptation of land reclamation to changing natural and climatic conditions. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 5 (83). Pp. 34-41.

6. Novikov A. E., Drannikov A. V. Precision irrigation technologies in increasing the sustainability of agriculture to natural changes. Irrigated agriculture. 2024. No 4 (47). Pp. 45-50.

7. Kireicheva L. V., Glazunova I. V. Development and placement of agricultural reclamation in changing climatic conditions. Nature management. 2017. No 4. Pp. 80-87.

8. Bukharov A. F., Fedosov A. Yu., Ivanova M. I. The Impact of Climate Change on Vegetable Growing and Ways to Overcome It. Vegetables of Russia. 2023. No 3. Pp. 41-49.

9. Ol'garenko G. V. The Land Reclamation Complex of the Russian Federation: Current State and Prospects for Sustainable Development. Irrigated Agriculture. 2025. No 2 (49). Pp. 14-21.

10. Grishaeva O. Yu. Research of the dynamics of the areas of reclaimed lands with engineering infrastructure in the standard technical and operational state by federal districts of the Russian Federation. Ecology and construction. 2024. No 3. Pp. 39-47.

11. Adamen F. F., Kokovikhin S. V., Stashkina A. F. Influence of long-term artificial humidification and different irrigation methods on the agrophysical indicators of dark chestnut soil in the conditions of the northern Black Sea region. Proceedings of the Agricultural Science of Tavrida. 2025. No 42 (205). Pp. 122-139.

12. Kryuchkov N. R., Makarov O. A. Experience in assessing the damage caused by soil and land degradation in agricultural enterprises of the Volgograd Region. Arid ecosystems. 2024. V. 30. No 1 (98). Pp. 153-162.

13. Elizarov N. V., Popov V. V., Rybkina I. D., Smolentsev B. A. Salinization and alkalinization of soils in the river valleys of the Kulunda Plain. Soil Science. 2023. No 10. Pp. 1216-1229.

14. Masutenko N. P., Chuyan N. A., Masutenko M. N., Kuznetsov A. V. On the Comprehensive Assessment of the Impact of Agricultural Technologies on the Fertility, Health, and Sustainability of Chernozems. Achievements of Science and Technology in the AIC. 2023. V. 37. No 8. Pp. 12-18.

15. Komarova O. P., Tikhonova M. K., Moskovets M. V., Toropov A. Yu. Ecological and Reclamation Monitoring of Water Objects in the Irrigated Experimental Station: Problems and Solutions. Proceedings of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2025. No 3 (81). Pp. 125-133.

Информация об авторах

Лытов Михаил Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2743-9825, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Author's Information

Lytov Michail Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Department, The All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – the branch of the Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (Russian Federation, 400002, Volgograd, Timiryazev Str., 9), ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2743-9825, e-mail: vkovniigim@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-67

THE TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL DIRECTIONS OF THE MODERN COMBINE MANUFACTURING DEVELOPMENT

Chaplygin M. E., Skumin M. V.

Federal Scientific Agrarian Engineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: misha2728@yandex.ru

Received 13.04.2026 Submitted 06.05.2026

The research was carried out within the framework of the state task FGUN-2025-0007 "To develop scientific foundations for the creation of digital intelligent process control systems, innovative technical means for breeding, seed production and production of cereals, legumes and oilseeds".

Abstract

Introduction. The current state of the combine building industry is developing in technical and technological areas that relate to design, drive systems, the introduction of automation of monitoring the implementation of the technological process and the use of new technologies. The relevance of the study is associated with the need to increase the efficiency of harvesting, minimize grain losses and ensure environmental safety. **Aim of the study** – to identify the main technical and technological directions in the development of modern combine building and propose their classification. **Materials and methods.** A systematic review of the scientific and technical literature was performed. We studied the original works of domestic and foreign authors: monographs, scientific journals, conference materials, photographs in the public domain. To monitor the achieved technical level of combines of domestic and foreign production for the period 2012-2025, methods of comprehensive analysis and expert and analytical processing of information were used. **Results and discussion.** The direction of development of modern combine building can be defined as a transition to a more accurate, robotic and energy efficient harvest, using both universal and highly specialized machines. Modern developments in the combine building industry are aimed at creating highly adaptive and intelligent harvesting machines. The review shows possible modifications of combines and identifies areas for further research and development in this area. **Conclusions.** Harvesting with new robotic specialized means with intelligent control systems improves the quality of the resulting products, reduces the negative impact of equipment on the soil and the environment. The classification proposed on the basis of the review allows us to conclude that the modern combine harvester is being transformed into a complex intelligent system. The future of the combine building industry will be determined by the effectiveness of technical and technological areas of development, the introduction of which will ensure high adaptability of machines to changing harvesting conditions and minimize the technogenic impact on the agrophone.

Keywords: *combine engineering, robotic units, increasing the efficiency of combines, intelligent combine control systems.*

Citation. Chaplygin M. E., Skumin M. V. The technical and technological directions of the modern combine manufacturing development. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 610-623 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-67.
Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.3.06:621

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО КОМБАЙНОСТРОЕНИЯ

Чаплыгин М. Е., *кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник*
Скумин М. В., *инженер*

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
Москва, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках государственного задания FGUN-2025-0007 «Разработать научные основы создания цифровых интеллектуальных систем управления технологическими процессами, инновационные технические средства для селекции, семеноводства и производства зерновых, зернобобовых и масличных культур».

Актуальность. Современное состояние отрасли комбайностроения развивается по техническим и технологическим направлениям, которые касаются конструкции, систем приводов, внедрения автоматизации контроля выполнения технологического процесса и использования новых технологий. Актуальность проводимого исследования связана с необходимостью повышения эффективности уборки

урожая, минимизации потерь зерна и обеспечения экологической безопасности. **Цель исследования** – выявить основные технические и технологические направления в развитии современного комбайностроения и предложить их классификацию. **Материалы и методы.** Был выполнен систематический обзор научно-технической литературы. Изучены оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов: монографии, научные журналы, материалы конференций, фотоматериалы в открытом доступе. Для проведения мониторинга достигнутого технического уровня комбайнов отечественного и зарубежного производства за период 2012-2025 гг. были использованы методы комплексного анализа и экспертно-аналитической обработки информации. **Результаты и обсуждение.** Направление развития современного комбайностроения можно определить, как переход к более точному, роботизированному и энергоэффективному сбору урожая, с использованием как универсальных, так и высокоспециализированных машин. Современные разработки в отрасли комбайностроения нацелены на создание высокоадаптивных и интеллектуальных уборочных машин. Проведенный обзор показывает возможные модификации комбайнов и выявляет направления для дальнейших научных исследований и разработок в этой области. **Выводы.** Уборка урожая новыми роботизированными специализированными средствами с интеллектуальными системами управления повышает качество получаемой продукции, уменьшает негативное воздействие техники на почву и экологию. Предложенная на основании проведенного обзора классификация позволяет сделать вывод о том, что современный зерноуборочный комбайн трансформируется в сложную интеллектуальную систему. Будущее отрасли комбайностроения будет определяться эффективностью технических и технологических направлений развития, внедрение которых обеспечит высокую адаптивность машин к изменяющимся условиям уборки и минимизацию техногенного воздействия на агрофон.

Ключевые слова: *комбайностроение, роботизированные агрегаты, повышение эффективности комбайнов, интеллектуальная система управления комбайнами.*

Цитирование. Чаплыгин М. Е., Скумин М. В. Технические и технологические направления развития современного комбайностроения. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 610-623. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-67.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Анализируя технические и технологические направления развития отрасли комбайностроения, прослеживается устойчивая мировая тенденция к переходу на точные, автоматизированные, роботизированные и ресурсосберегающие технологии сбора урожая сельскохозяйственных культур. Развитие отрасли комбайностроения сконцентрировано не только на уборке традиционно распространенных зерновых, зернобобовых и масличных культур, но и на специализированных машинах для уборки редких, ценных или сложных в сборе культур (сои, риса, хлопка, астрагала перепончатого, кориандра, оливок, клубники, арахиса и т. д.), а также на внедрении принципиально новых технологий привода и управления технологическими процессами. Одно из центральных направлений – оптимизация эксплуатационных параметров для специализированных культур [1, 2]. Это подтверждается разработкой комплексных критериев оценки (ККО) для оливкоуборочных комбайнов, где наивысшая эффективность достигается при точно заданных комбинациях скорости движения и частоты встряхивания, что критически важно для получения плодов высокого качества и сохранности деревьев [3]. Аналогичный подход используется для уборки лекарственных культур, например, астрагала перепончатого, где оптимизация скорости конвейеров и движения комбайна обеспечивает максимальный коэффициент отрыва и минимальное повреждение корневищ [4]. Для таких культур, как кориандр, детальный анализ статических и динамических сил резания позволяет индивидуально настраивать параметры жатки для снижения энергопотребления и потерь семян [5].

Значительные усилия направлены на механизацию сложных и трудоемких [6-7] процессов. Примером является разработка интегрированного комбайна для подводного сбора корней лотоса, включающего гидросистему промывки, вращающийся грейфер и замкнутую систему самобалансировки, что позволяет снизить трудоёмкость и сократить потери урожая [8]. В области высокотехнологичного сбора, к примеру хлопка прослеживается четкий тренд перехода к роботизации [9, 10]. Такой переход демонстрируется разработкой роботизированных хлопкоуборочных машин [11], способных собирать урожай несколько раз за сезон, минимизируя уплотнение почвы и улучшая качество волокна. Особое внимание уделяется решению проблемы окклюзии (затенения/перекрытия) ягод в кронах, что реализовано в роботизированном клубникоуборочном комбайне с системой вентиляторов и машинным зрением [12, 13], повышающим скорость сбора.

Не менее важным направлением является модернизация систем машин в ответ на эксплуатационные и экологические требования [14, 15]. Это включает модификацию существующих рисоуборочных комбайнов для одновременного скашивания и прессования соломы пшеницы с целью получения соломы для корма в отрасли животноводства [16]. Внедряются гибридные и электрические системы привода (последовательно-гибридный электрический комбайн SHECH), которые, благодаря распределенной системе электропривода, не только упрощают трансмиссию и повышают эффективность передачи мощности, но и значительно снижают энергопотребление и загрязнение окружающей среды [17, 18]. Кроме того, для обеспечения долговечности и надежности конструкций проводятся исследования по улучшению виброизоляции ключевых узлов, таких как молотильный аппарат, с использованием предварительно напряженных композитных балок [19, 20].

Для повышения стабильности и эксплуатационной эффективности сельскохозяйственной техники [21, 22], особый акцент делается на разработке адаптивного шасси для эксплуатации в сложных условиях холмистых и горных районов. Эти разработки, важны в условиях крутых склонов и фрагментированных угодий, включают многорежимные ходовые механизмы, бесступенчатую трансмиссию, адаптивное рулевое управление и технологии автоматического выравнивания [23]. В частности, разработка четырехточечного регулируемого подъемного гусеничного шасси позволяет поддерживать горизонтальное положение кузова комбайна при работе на неровной местности, повышая тем самым безопасность и производительность [24].

Ведущие исследования сосредоточены на повышении точности и снижении потерь при уборке. В частности, для комбайнов, оборудованных адаптерами для уборки сои, разработана вычислительная модель и адаптивная система регулирования высоты жатки, основанная на взаимодействии с почвой, что позволяет минимизировать высоту стерни и избежать погружения режущего аппарата в почву [25]. Для решения проблем с забиванием массой систем транспортировки в комбайнах для уборки арахиса предлагается система с управлением потоком и логической пороговой стратегией (threshold strategy/logic) предотвращающей блокировку систем комбайна [25]. Для сахарного тростника разработана оптимизированная система транспортировки и среза верхушек, существенно снижающая влияние доли примесей в верхушках на механизированный сбор стеблей [2727]. Отдельный блок исследований посвящен борьбе с уплотнением почвы – одной из основных проблем, связанных с ростом массы техники. Обсуждается компромисс между использованием малых автономных машин («рой машин» или «группа машин») и внедрением технологий контролируемого движения (Controlled Traffic Farming, CTF); при этом для крупных уборочных машин (зерно, корнеплоды) предпочтительным решением является автономная техника средней массы в сочетании с CTF [2727].

Цель исследования – выявить основные технические и технологические направления в развитии современного комбайностроения и предложить их классификацию.

Материалы и методы исследования. Был выполннен систематический обзор научно-технической литературы. Изучены оригинальные работы отечественных и зарубежных авторов: монографии, научные журналы, материалы конференций, фотоматериалы в открытом доступе. Для проведения мониторинга достигнутого технического уровня комбайнов отечественного и зарубежного производства за период 2012-2025 гг. были использованы методы комплексного анализа и экспертно-аналитической обработки информации.

Результаты и обсуждение. Развитие сельскохозяйственного машиностроения является важным фактором для обеспечения продовольственной безопасности страны и повышения эффективности агропромышленного комплекса (АПК). На современном этапе развития технологий и технических средств, основные направления развития отрасли комбайностроения направлены на повышение производительности, снижение потерь урожая, минимизации негативного воздействия на почву и внедрения интеллектуальных систем управления. Современная концепция развития отрасли представляет собой объединение стратегической модернизации конструкций и глубокой цифровизации. Она направлена на переход к высоконадежным, электрифицированным и роботизированным платформам, способным обеспечить высокую точность уборки при минимальном воздействии на почву. Разберём более детально каждое направление развития.

1. Стратегическое обновление и повышение надежности.

Обеспечение устойчивого развития АПК неразрывно связано с эффективностью и надежностью сельскохозяйственной техники. Актуальность исследований в данной сфере обусловлена несколькими фундаментальными проблемами. Во-первых, это низкие

темпы технологического обновления машинно-тракторного парка (МТП) в регионах, что требует глубокого анализа и выработки адресных мер поддержки для приобретения современных образцов техники [2]. Во-вторых, критически важной является эксплуатационная и технологическая надежность комбайнов [1], особенно в условиях интенсивной и короткой уборочной кампании, где даже незначительные простои техники ведут к существенным потерям урожая [14]. Непрерывный мониторинг и оценка показателей надежности необходимы для выявления узлов с истекающим ресурсом и проведения упреждающих ремонтно-обслуживающих воздействий [7]. Отдельное внимание уделяется совершенствованию рабочих органов (молотильно-сепарирующих систем) для повышения их эффективности и долговечности, а также разработке механизмов автоматизированного распределения потока.

2. Оптимизация и повышение точности уборки.

Для узкоспециализированных культур разрабатываются комплексные критерии оценки (ККО). Например, для оливкоуборочных комбайнов общий критерий оценки был разработан на основе относительного веса отдельных критериев, включающих оценку производительности комбайна, его энергопотребления, эффективности (с учетом процента удаления плодов и процента плодов, собранных в ящике машины), повреждения плодов (частота повреждений, количество срезанных плодов, твердость плодов и индекс цвета) и повреждения оливковых деревьев. При этом наиболее важными для качества собранных плодов и сохранности деревьев при эффективном сборе оказались точность заданных комбинаций скорости движения и частоты встряхивания [3].

Аналогичный подход повышения эффективности и качества использовался в исследовании механизированной уборки астрагала перепончатого в холмистых и горных районах [4]. В процессе изучения были рассмотрены рабочие механизмы системы и структурные и динамические параметры комков почвы на поверхности рабочего органа машины. В результате было выявлено, что максимальный коэффициент отрыва и минимальное повреждение корневищ астрагала было достигнуто при оптимизации скоростей первичного и вторичного конвейеров, а также скорости движения комбайна.

Для таких культур, как кориандр, исследовалось влияние статических и динамических сил резания [5]. Статические усилия измерялись с помощью анализатора текстуры при различных значениях скорости лезвия, количества срезаемых стеблей, высотах среза и содержания влаги в стеблях. Динамические усилия резания измерялись путем моделирования полевых условий при различных скоростях движения комбайна, скоростях режущего аппарата и высоты среза. Основными факторами для статической силы резания можно назвать количество стеблей и скорость ножа, а для динамической – скорость режущего аппарата и скорость движения комбайна. Для повышения эффективности комбайна, снижения энергопотребления и минимизации повреждения семян во время уборки наиболее важным является возможность индивидуальной настройки параметров как ходовой части комбайна, так и его рабочего органа.

Чтобы повысить качество уборки урожая сои и избежать случайного захвата режущим аппаратом почвы из-за низкого расположения бобов, в исследовании предложили систему регулирования высоты жатки комбайна [25]. В процессе исследования была создана математическая модель плотности почвы и глубины уплотнения, вычислительная модель профилирования высоты жатки и адаптивная система ее регулировки.

При уборке арахиса существует проблема забивания зажимной конвейерной системы комбайна. Для ее решения в исследовании [25] предложена система зажима и транспортировки стеблей арахиса со схемой управления потоком, а также стратегия управления с использованием логического порогового подхода. По результатам полевых экспериментов было выявлено, что обе разработки могут эффективно отвечать требованиям уборки урожая и предотвращать закупорку системы.

3. Роботизация и интеллектуальные системы.

Роботизация в сельском хозяйстве является ответом на дефицит рабочей силы и необходимостью повышения точности, эффективности и качества сбора урожая. Традиционная техника, как правило, собирает урожай один раз в конце сезона, что приводит к потере качества и уплотнению почвы [11]. Интеллектуальные системы стремятся преодолеть эти ограничения, обеспечивая многократный, избирательный сбор и минимизируя человеческий фактор.

Одной из самых сложных задач является сбор ягод, где часты случаи окклюзии (затенения или перекрытия) плодов листьями или другими частями растения. На рисунке 1 представлен роботизированный комбайн для сбора клубники, включающий систему машинного зрения, манипулятор, рабочий орган и наземную платформу [28].

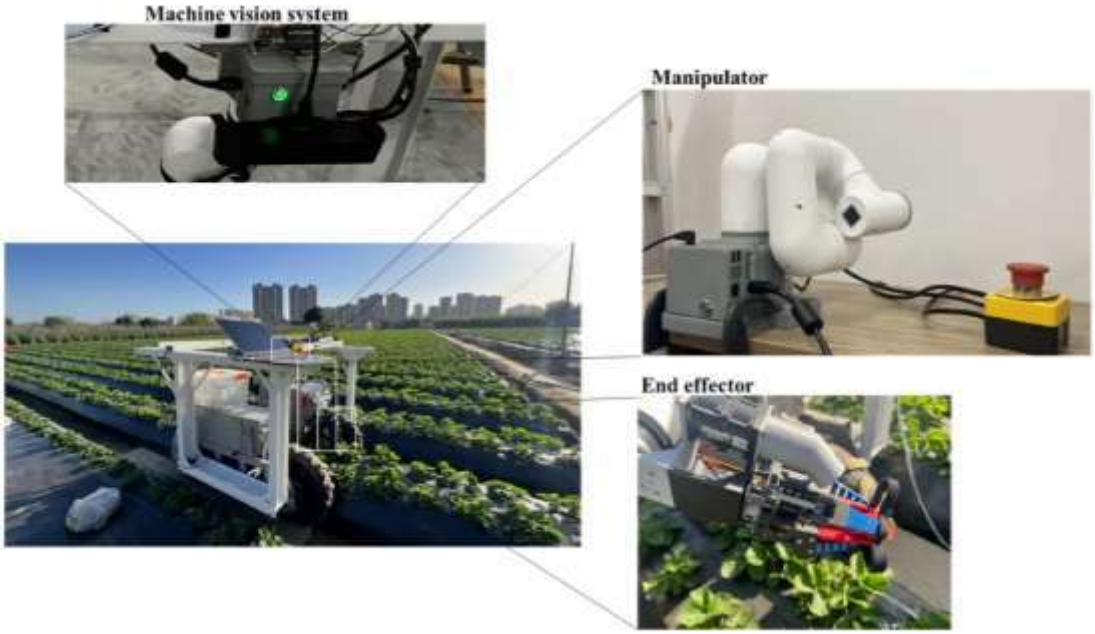


Рисунок 1 – Роботизированный комбайн для сбора клубники, включающий систему машинного зрения, манипулятор, рабочий орган и наземную платформу [12]
Figure 1 – The robotic strawberry harvester, comprising a machine vision system, a manipulator, the working element and the ground platform [12]

Проблема заключатся в том, что в условиях открытого грунта (например, при сборе клубники) окклюзия резко снижает эффективность роботизированного сбора. Решение проблемы может заключаться в разработке инновационных роботов, таких как прототип для сбора клубники, который объединяет систему машинного зрения (основанную на глубоком обучении) для классификации ягод («закрыта» или «не закрыта») с инновационным рабочим органом, оснащенным системой вентиляторов [12]. В результате использования системы вентиляторов для рассеивания окклюзии скорость сбора фруктов увеличилась на 15,8 % (с 58,1 % до 73,9 %), что доказывает эффективность активного управления средой.

Для хлопка, качество которого зависит от времени сбора (волокно из рано раскрывшихся коробочек может подвергаться воздействию погоды), актуален многократный, или избирательный, сбор [11]. Проблема заключается в том, что традиционные тяжелые комбайны собирают хлопок за один проход, что приводит к снижению качества волокна и сильному уплотнению почвы. Решение проблемы состоит в разработке небольших роботизированных хлопкоуборочных машин с манипулятором и трехпальцевым рабочим органом, интегрированным с модулем восприятия на основе глубокого обучения (YOLOv4-tiny). В результате был получен прототип, который достиг эффективности сбора 72 % (соотношение собранного хлопка к доступному) при среднем цикле 8,8 секунды за счет использования алгоритма управления с замкнутым контуром, который непрерывно получает обратную связь от камеры. Эта технология закладывает основу для более мелких, многократно используемых машин, которые могут собирать хлопок-сырец вскоре после раскрытия коробочек, тем самым улучшая качество [29].

Значительные усилия направлены на механизацию сложных и трудоемких процессов, а также на переход к интеллектуальным сельскохозяйственным машинам.

Внедрение систем помощи водителю и автоматизации движения является шагом к полной автономии. Ключевыми технологиями в данном направлении можно назвать системы круиз-контроля и беспилотные системы. Системы круиз-контроля на основе гидростатической трансмиссии для комбайнов, например, «Ростсельмаш», показывают преимущества в адаптивности к сложным полевым условиям и снижении затрат на интеграцию по

сравнению с аналогами [22]. Интеграция систем технического зрения и искусственного интеллекта (ИИ) позволяет комбайнам выполнять задачи автономно, что является основой создания беспилотных систем. Это повышает производительность и оптимизирует процессы (в том числе за счет возможности работы в ночное время и снижения затрат на рабочую силу) и позволяет нивелировать влияние человеческого фактора [10].

Таким образом, роботизация и внедрение ИИ – это не просто модернизация, а фундаментальная трансформация технологического процесса уборки. В то время как роботизированные комбайны для хлопка и клубники решают проблемы селективного сбора и преодоления препятствий (окклюзии), беспилотные системы и круиз-контроль обеспечивают макро-эффективность и оптимизацию полевой логистики.

4. Конструктивная адаптация, электрификация, экологичность и снижение вредного уплотнения почвы.

Конструктивная адаптация, электрификация.

Холмистые и горные районы особенно труднодоступны для обработки [6], особенно крупногабаритными техническими средствами [21]. Из-за неровной поверхности перемещение техники с обычными шасси практически невозможно [22]. Для такой местности разрабатываются адаптивные шасси, включающие многорежимные ходовые механизмы, бесступенчатую трансмиссию (CVT) и технологии автоматического выравнивания [23]. Чтобы предотвратить опрокидывание транспортного средства при наклоне было проведено достаточно исследовательских работ, однако большинство из предложенных решений неэффективны для технических средств, имеющих гусеничный движитель. В исследовании уровень гусеничного зерноуборочного комбайна предлагают поддерживать гидравлическим четырехточечным регулируемым подъемным шасси [24].

При изменении конструкции бункера гусеничного комбайна (рисунок 2) [19] повышается его устойчивость за счет снижения центра тяжести и более равномерного распределения массы, улучшается проходимость комбайна и снижается его воздействие на почву, а также улучшается качество очистки зерна и снижается его дробление.

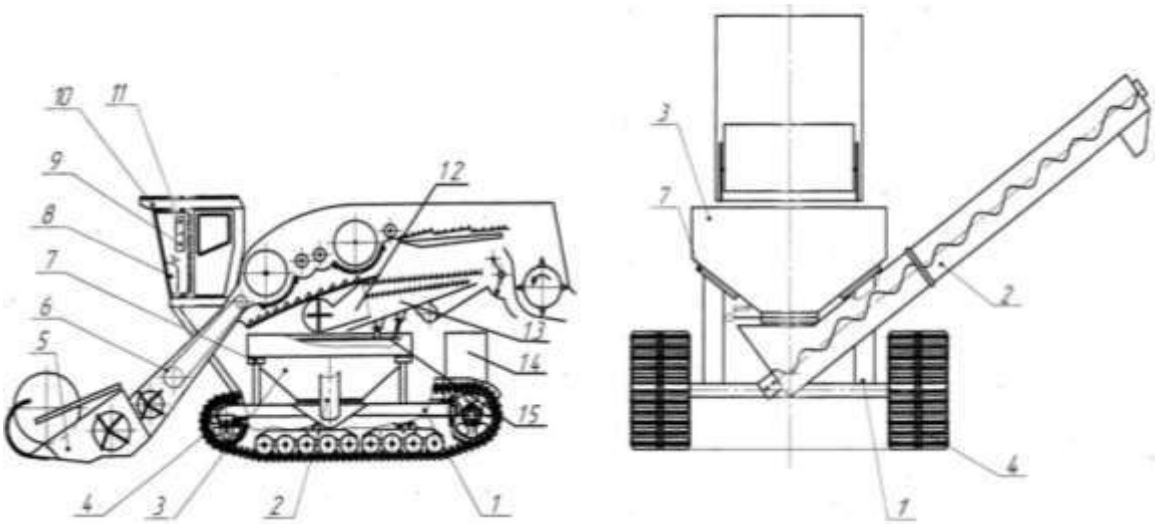


Рисунок 2 – Комбайн самоходный гусеничный зерноуборочный новой компоновки [19]:
1 – рама ходовой тележки; 2 – выгрузной шнек; 3 – зерновой бункер;
4 – резиноармированные гусеницы; 5 – жатка; 6 – битер; 7 – тензодатчики; 8 – пульт управления;
9 – тензоусилитель; 10 – кабина водителя; 11 – показательное устройство; 12 – вентилятор;
13 – стрясная доска; 14 – моторная установка; 15 – прутковая решетка
Figure 2 – Self-propelled tracked grain harvester with a new design [19]:
1 – undercarriage frame; 2 – unloading auger; 3 – grain hopper; 4 – rubber-reinforced tracks; 5 – header;
6 – beater; 7 – strain gauges; 8 – control panel; 9 – strain gauge amplifier; 10 – driver's cabin;
11 – indicator device; 12 – fan; 13 – shaker board; 14 – motor unit; 15 – bar grate

Переход от традиционных механических трансмиссий к электрическим приводам (электрификация) является ответной мерой на проблемы высокого энергопотребления, загрязнения окружающей среды и сложности регулировки рабочих параметров зерноуборочных комбайнов.

Гибридная распределенная система, состоящая из двигателя внутреннего сгорания (ДВС), генератора и системы аккумуляторных батарей, предлагается в виде нового последовательно-гибридного электрического комбайна (SHECH) [17].

Преимущества такой системы в упрощении конструкции, так как электропривод значительно упрощает сложную систему трансмиссии и повышает эффективность передачи мощности [17]. Повышается энергоэффективность, так как система способна восстанавливать заряд батареи, снижая общий расход топлива. Улучшается точность управления, так как независимая работа каждого компонента обеспечивает основу для реализации регулировки скорости каждого ключевого узла по мере необходимости, что расширяет возможности для интеллекта и адаптивности комбайнов.

Также проводятся исследования и в направлении улучшения виброизоляции основных конструктивных узлов комбайнов, в том числе барабана и рамы молотильного аппарата [20]. Молотильный аппарат зерноуборочного комбайна из-за наматывания стеблей создает несбалансированные вибрации, которые могут повлиять на устойчивость и срок службы самого устройства. В исследованиях доказывается способность предварительно напряженных опорных балок обеспечить динамическое гашение колебаний.

Экологичность и снижение вредного уплотнения почвы.

Развитие комбайностроения демонстрирует переход к принципиально новым подходам в области взаимодействия с почвой. Борьба с уплотнением почвы одно из ключевых направлений для обеспечения экологической устойчивости.

Проблема деградации почвы, вызванной уплотнением, становится все более острой из-за постоянного роста мощности и массы современной уборочной техники. Уплотнение почвы приводит к снижению урожайности и требует дорогостоящих мер по рекультивации.

В исследованиях рассматриваются различные подходы к управлению последствиями уплотнения почвы, такие как минимизация нагрузки, рекультивация и ограничение движения (контролируемое земледелие). Уменьшает нагрузку на почву снижение эксплуатационной массы комбайна. Однако, достигается это разными путями, в том числе путем замены материалов отдельных рабочих органов комбайна на более прочные и легкие. В исследовании [30] изучалось влияние давления ведущих колес комбайна для посадки риса на почву через распределение массы машины и возможность замены элементов конструкции с целью снижения общего веса машины. Исследованием влияния веса различных по размеру жаток зерноуборочного комбайна на вертикальные воздействия передних колес на почву занимались в статье [31].

Рисунок 3 – Современные буксируемые однорядные морковоуборочные (слева) и картофелеуборочные (справа) комбайны бункерного типа [27]
Figure 3 – Modern towed single-row bunker-type carrot (left) and potato (right) harvesters [27]

Применяются также малогабаритные автономные транспортные средства (рои или группы машин). Использование интегрированных «роев» из небольших автономных машин позволяет обеспечить снижение нагрузки на почву. Однако, при уборке зерна, чтобы поддерживать приемлемую плотность почвы не повышая уплотнение, масса комбайна должна быть не более 6 тонн. Чтобы заменить один крупный комбайн, потребуется 6-9 малых машин, что создает значительные конструктивные и логистические проблемы (например, необходимость разгрузки каждые 2,5-3 минуты) [27]. Для корнеплодов, которые сильно

нарушают структуру почвы, низкомассовые варианты оказались неэффективными и их применение уплотняет почву до неприемлемых пределов. На рисунке 3 представлены современные буксируемые однорядные морковоуборочный (слева) и картофелеуборочный (справа) комбайны бункерного типа, которые сконструированы таким образом, что одна шина оставляет след над выкопанным рядом сразу после удаления продукции, что приводит к очень высокому риску уплотнения.

Также для снижения воздействия движителей на почву применяется контролируемое земледелие (CTF). Суть его заключается в следующем: ограничение движения тяжелой техники строго определенными путями (технологическими колеями), что позволяет избежать уплотнения на большей части поля. Оптимальная схема будет работать при условии, что наиболее эффективным решением для борьбы с уплотнением и управления операционной логистикой является интеграция CTF с автономными машинами средней производительности (~10-20 Мг для комбайнов) [27].

В то время как электрификация повышает эффективность и точность управления агрегатами, открывая путь к более распределенным и легким конструкциям, борьба с уплотнением почвы требует технологий контролируемого движения техники (CTF). Для крупногабаритной уборочной техники (зерно, корнеплоды) сочетание CTF и автономности среднего класса является более реалистичным и эффективным направлением, чем переход к низкомассовым роевым (групповым) системам.

Таким образом, комплексный анализ представленных исследований показывает активную фазу развития комбайностроения, направленную на создание высокоэффективных, интеллектуально управляемых и экологически устойчивых сельскохозяйственных машин.

Классификация направлений развития отрасли комбайностроения.

В ходе исследования нами определены четыре направления развития отрасли комбайностроения, которые отражают процесс технических и технологических решений в сторону роботизированных и ресурсосберегающих систем. Рассмотрим каждое направление развития подробнее.

1. Автоматизация и интеллектуализация.

Эта группа фокусируется на замещении ручного труда, повышении точности и автономности машин за счет внедрения продвинутых систем управления и восприятия. В таблице 1 представлена первая группа.

Таблица 1 – Первая группа: Автоматизация и интеллектуализация
Table 1 – First group: Automation and intelligence

Достигнутое направление развития / Achieved development direction	Описание направления развития / Description of the development direction	Общее направление развития / General development direction
Роботизированные комбайны для хлопка, роботы для сбора клубники / Robotic cotton harvesters, strawberry harvesting robots	Разработка малых, автономных машин для избирательного, многократного сбора урожая, что повышает качество продукции и минимизирует уплотнение почвы / Development of small, autonomous machines for selective, repeated harvesting, which improves product quality and minimizes soil compaction	Роботизация и селективный сбор / Roboticization and selective harvesting
Адаптивная система регулирования высоты жатки комбайнов для уборки сои, система зажима и транспортировки с алгоритмом управления для сбора арахиса / Adaptive header height control system for soybean harvesters, clamping and transport system with control algorithm for peanuts	Использование ИИ, машинного зрения и датчиков для динамической настройки рабочих органов / Using AI, machine vision, and sensors to dynamically adjust working tools	Системы точного адаптивного контроля / Precise adaptive control systems
Беспилотные комбайны и системы круиз-контроля / Unmanned harvesters and cruise control systems	Внедрение систем для автономного движения и оптимизации работы в поле / Introduction of systems for autonomous driving and optimization of field operations	Автономность и помощь водителю / Autonomy and driver assistance

2. Конструктивная адаптация и специализация.

Эта группа включает конструктивные изменения, направленные на расширение области применения комбайнов и повышение их эффективности в сложных условиях. В таблице 2 представлена вторая группа.

Таблица 2 – Вторая группа: Конструктивная адаптация и специализация
Table 2 – Second group: Constructive adaptation and specialization

Достигнутое направление развития / Achieved development direction	Описание направления развития / Description of the development direction	Общее направление развития / General direction of development
Четырехточечное регулируемое подъемное гусеничное шасси для зерноуборочных комбайнов; системы выравнивания шасси для холмистых и горных районов / Four-point adjustable lifting caterpillar chassis for grain harvesters; chassis leveling systems for hilly and mountainous areas	Разработка ходовой части с возможностью выравнивания и повышенной проходимостью для работы на склонах и неровных участках / Development of a chassis with leveling capabilities and increased cross-country ability for working on slopes and uneven areas	Адаптивное шасси / Adaptive chassis
Интегрированный комбайн для сбора корней лотоса; оптимизированная система обламывания верхушек сахарного тростника / Integrated lotus root harvester; optimized sugar cane tip-breaking system	Создание уникальных систем для уборки сложных или нишевых культур / Creation of unique systems for harvesting complex or niche crops	Специализированные агрегаты / Specialized units
Модификация рисоуборочного комбайна для скашивания и прессования соломы пшеницы / Modification of a rice harvester for mowing and pressing wheat straw	Возможность переоборудования существующих машин для выполнения новых функций / The ability to convert existing machines to perform new functions	Модульность и модификация / Modularity and modification

3. Устойчивость и экологичность.

Тенденции, направленные на снижение негативного воздействия на окружающую среду, в первую очередь на почву, и повышение энергетической эффективности. В таблице 3 представлена третья группа.

Таблица 3 – Третья группа: Устойчивость и экологичность
Table 3 – Group Three: Sustainability and environmental friendliness

Достигнутое направление развития / Achieved development direction	Описание направления развития / Description of the development direction	Общее направление развития / General direction of development
CTF (Контролируемое Земледелие) в сочетании со среднемассовыми автономными машинами / CTF (Controlled Farming) in combination with medium-mass autonomous machines	Снижение давления на почву путем ограничения движения или уменьшения массы техники / Reducing soil pressure by limiting vehicle movement or reducing its weight	Борьба с уплотнением почвы / Combating soil compaction
Последовательно-гибридный электрический комбайн (SHECH) с распределенным электроприводом / Sequential hybrid electric combine (SHECH) with distributed electric drive	Переход на электрические или серийно-гибридные системы привода для снижения расхода топлива и выбросов / Switching to electric or hybrid drive systems to reduce fuel consumption and emissions	Электрификация и гибридизация / Electrification and hybridization
Анализ статических и динамических сил резания кориандра для оптимизации параметров жатки / Analysis of static and dynamic cutting forces of coriander to optimize the parameters of the reaper	Детальный анализ механических процессов для снижения требуемой мощности / Detailed analysis of mechanical processes to reduce the required power	Энергооптимизация / Energy optimization

4. Оценка и оптимизация производительности.

Разработка и применение комплексных методик для количественной и качественной оценки работы комбайна. В таблице 4 представлена четвертая группа.

Таблица 4 – Четвёртая группа: Оценка и оптимизация производительности
Table 4 – Group 4: Performance evaluation and optimization

Достигнутое направление развития / Achieved development direction	Описание направления развития / Description of the development direction	Общее направление развития / General development direction
Комплексная оценка производительности оливкоуборочного комбайна / Comprehensive assessment of olive harvester performance	Использование многофакторных моделей для определения оптимальных режимов работы, учитывающих эффективность, потери и повреждения / Use of multi-factor models to determine optimal operating modes that take into account efficiency, losses, and damage	Комплексные критерии оценки (ОКО) / Comprehensive assessment criteria
Использование предварительно напряженных композитных балок для гашения колебаний молотильного аппарата / Use of pre-stressed composite beams to dampen the vibrations of the threshing machine	Улучшение надежности и долговечности ключевых узлов за счет снижения вибрации / Improve the reliability and durability of key components by reducing vibration	Динамическое демпфирование / Dynamic damping

Общий вид классификации направлений развития комбайнов представлен на рисунке 4.

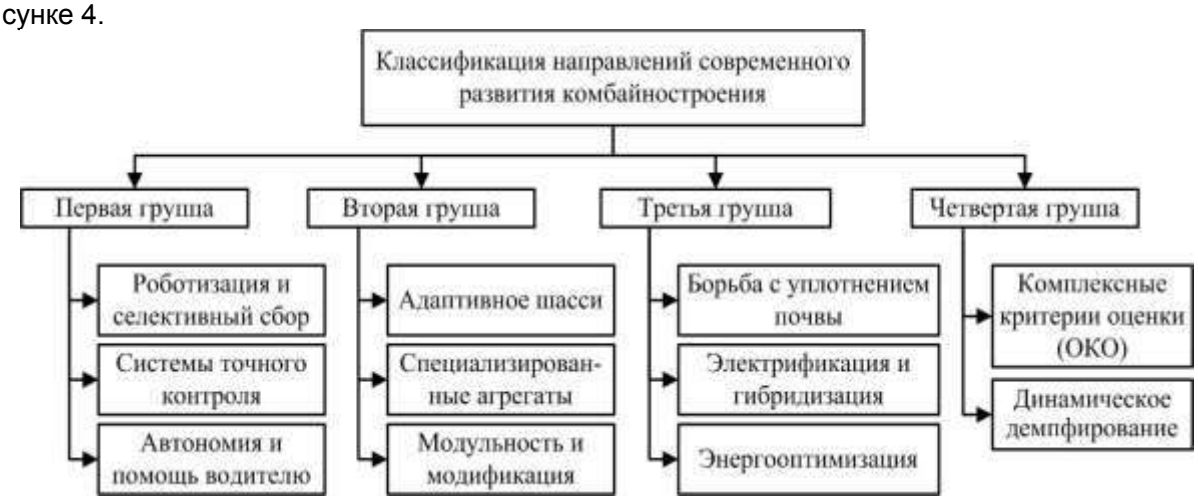


Рисунок 4 – Классификация направлений развития комбайнов
Figure 4 – Classification of combine harvester development directions

Проведенные исследования показывают, что комбайностроение выходит за рамки только зерноуборочных комбайнов, требуя узкоспециализированных решений для уникальных культур. Для сои [25], арахиса [25] и оливок [3] главным фактором эффективности является способность комбайна выполнять работу на заданных параметрах. Это условие достигается через детальные модели взаимодействия «почва-машина».

Разработка адаптивного шасси для горных и холмистых районов (статьи [21], [23] и [24]) и специализированного комбайна для подводного сбора лотоса [8] подтверждает, что техника становится адаптивной к экстремальным условиям, а не только к ровным полям.

Методология оценки смещается от простых показателей (скорость, пропускная способность) к комплексным критериям (ККО). Производительность измеряется не только в кг/с или тоннах/час, но и в проценте повреждения плодов, энергопотреблении и коэффициенте отрыва (статьи [3] и [4]).

Выводы. Проведённые исследования показывают, что направление технического и технологического развития современного комбайностроения смещается от количественных показателей (скорость и объем уборки) к качественным (прецизионность и селективность). Переход к роботизированным системам, основанным на технологиях применения искусственного интеллекта и технического зрения, позволяет реализовать принцип избирательного сбора урожая в фазе оптимальной спелости, что минимизирует потери и повышает качество убираемой продукции.

Следует учитывать, что современное проектирование уборочных машин выходит за рамки классической схемы уборки культур, включающей в себя этапы среза, обмолота, выделения зерна и его очистки. Внедрение вспомогательных систем для преодоления визуальных и физических препятствий (окклюзий) свидетельствует о формировании комплексного подхода к взаимодействию рабочих органов машины с объектом уборки и окружающей средой.

Ограничением роста мощности техники является риск деградации (уплотнения) почвенного слоя. Решение данной проблемы возможно при комбинировании двух подходов: снижение массы конструктивных элементов за счет применения композитных материалов и реализация концепции контролируемого земледелия (Controlled Traffic Farming, CTF). Это позволяет оптимизировать перемещения тяжелой техники по полю, минимизируя негативное воздействие.

Внедрение гибридных и распределенных систем привода способствует упрощению трансмиссии и повышению маневренности. Электропривод выступает необходимым условием для обеспечения гибкости управления и соответствия современным экологическим стандартам.

Предложенная на основании проведенного обзора классификация направлений развития комбайностроения, позволяет сделать вывод о том, что современный зерноуборочный комбайн трансформируется в сложную интеллектуальную систему. Будущее отрасли комбайностроения будет определяться эффективностью технических и технологических направлений развития, внедрение которых обеспечит высокую адаптивность машин к изменяющимся условиям уборки и минимизацию техногенного воздействия на агрофон.

Conclusions. The conducted research shows that the technical and technological development of modern combine harvester engineering is shifting from quantitative indicators (harvesting speed and volume) to qualitative ones (precision and selectivity). The transition to robotic systems based on artificial intelligence and machine vision technologies enables the implementation of the principle of selective harvesting at the optimal ripeness stage, which minimizes losses and improves the quality of the harvested product.

It should be noted that modern harvesting machine design goes beyond the classic crop harvesting scheme, which includes cutting, threshing, grain separation, and cleaning. The introduction of auxiliary systems to overcome visual and physical obstacles (occlusions) indicates the development of an integrated approach to the interaction of the machine's working parts with the harvested object and the surrounding environment.

The risk of soil degradation (compaction) limits the growth of equipment capacity. A solution to this problem can be achieved by combining two approaches: reducing the weight of structural components through the use of composite materials and implementing controlled traffic farming (CTF). This optimizes the movement of heavy equipment across the field, minimizing negative impacts.

The introduction of hybrid and distributed drive systems helps simplify transmissions and improve maneuverability. An electric drive is essential for ensuring control flexibility and compliance with modern environmental standards.

The classification of combine harvester development trends proposed based on the review suggests that the modern combine harvester is evolving into a complex intelligent system. The future of the combine harvester industry will be determined by the effectiveness of technical and technological advances, the implementation of which will ensure high machine adaptability to changing harvesting conditions and minimize the impact on the agricultural environment.

Библиографический список

1. Комаров В. А., Курашкин М. И. Исследование работоспособности зерноуборочных комбайнов в гарантийный период. Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 2. С. 188-206.
2. Данилов Д. Ю., Завиваев С. Н. Технологическое обновление сельскохозяйственного машинно-тракторного парка региона. Вестник НГИЭИ. 2024. № 11 (162). С. 84-93.
3. Ghonimy M., Alharbi A., Ibrahim M. M. Comprehensive performance assessment of an over-the-row olive harvester. Heliyon. 2025. V. 11. No. 10. Art. e43438.
4. Jianpu D., Sun W., Guo X., Simionescu P. A. Parameter analysis and optimization of the conveying and separation device in an Astragalus membranaceus harvester. Industrial Crops and Products. 2025. V. 232. Art. 121321.
5. Aruna T. N., Sahoo P. K., Kushwaha D. K., Pradhan N. C. Static and dynamic cutting forces in coriander crop harvesting: Engineering insights for harvester optimization. Smart Agricultural Technology. 2025. V. 10. Art. 100772.
6. Wang B., Zhu J., Cha X., Liu B., Zhang G., Yao W. Research status and development trend of key technology of agricultural machinery chassis in hilly and mountainous areas. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. V. 226. Art. 109447.
7. Крюкова Н. С., Острецов В. Н. Оценка надежности систем зерноуборочных комбайнов. Международный технико-экономический журнал. 2020. № 1. С. 22-28.
8. Zhou X., Liu L., Luo Y., Wang H. Design and Testing of a Lotus Root Harvester with a Collection Device. Smart Agricultural Technology. 2025. V. 12. Art. 101331.
9. Туленцева Е. А., Канаев М. А. Современное состояние рынка зерноуборочных комбайнов в Российской Федерации. Технологии, машины и оборудование в сельском хозяйстве: сборник научных трудов научно-практической конференции. Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2024. С. 14-16.

10. Громыко А. А., Солтанов В. Р. Беспилотные комбайны в сельскохозяйственной отрасли. Инновационное развитие современной науки: новые подходы и актуальные исследования: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Москва: Алеф, 2023. С. 190-192.

11. Gharakhani H., Thomasson J. A., Lu Y. Integration and preliminary evaluation of a robotic cotton harvester prototype. Computers and Electronics in Agriculture. 2023. V. 211. Art. 107943.

12. He Z., Liu Z., Zhou Z., Karkee M., Zhang Q. Improving picking efficiency under occlusion: Design, development, and field evaluation of an innovative robotic strawberry harvester. Computers and Electronics in Agriculture. 2025. V. 237 (C). Art. 110684.

13. Бушуева Е. В. Новые методы и подходы в отрасли комбайностроения в России. Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков (шифр МКРНП): сборник материалов XXX Международной научно-практической конференции. Москва: ООО "Издательство "Экономическое образование". 2024. С. 192-195.

14. Игамбердиев А. А. Хранение сельскохозяйственных машин и зерноуборочных комбайнов как фактор успешной эксплуатации. Universum: технические науки. 2019. № 6 (63). С. 47-49.

15. Шантыко А. С., Липская В. К. Развитие техники ОАО "Гомсельмаш" для решения экологических проблем и повышения ее конкурентоспособности. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 100-107.

16. Khater A., Fouda O., El-Termezy G., Abdel hamid S., El-Tantawy M., El-Beba A., Sabry H., Okasha M. Modification of the rice combine harvester for cutting and binding wheat crop. Journal of Agriculture and Food Research. 2023. V. 14. Art. 100738.

17. Zhu Z., Chai X., Xu L., Quan L., Yuan C., Tian S. Design and performance of a distributed electric drive system for a series hybrid electric combine harvester. Biosystems Engineering. 2023. V. 236. Pp. 160-174.

18. Ерохин Г. Н., Коновский В. В. Модель использования зерноуборочных комбайнов в сельскохозяйственном предприятии. Наука в центральной России. 2017. № 4 (28). С. 49-56.

19. Канделя М. В., Рябченко В. Н., Емельянов А. М. Разработка зерноуборочного комбайна с новой компоновкой технологической части. Дальневосточный аграрный вестник. 2012. № 3 (23). С. 72-75.

20. Tang Z., Zhang B., Wang M., Zhang H. Damping behaviour of a prestressed composite beam designed for the thresher of a combine harvester. Biosystems Engineering. 2021. V. 204. Pp. 130-146.

21. Бакач Н. Г., Володкевич В. И., Шах А. В. Оценка эффективности применения перспективных моделей зерноуборочных комбайнов в различных условиях сельскохозяйственных организаций. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе - сегодня и завтра: сборник научных статей 8-ой международной научно-практической конференции. Гомель: Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2024. С. 185-188.

22. Отраднов К. В., Костин С. Ю. Обзор перспективных решений реализации систем круиз-контроля для сельскохозяйственных комбайнов и тракторов. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 12-3 (99). С. 161-165.

23. Ding R., Qi X., Chen X., Mei Y., Li A. The Current Development Status of Agricultural Machinery Chassis in Hilly and Mountainous Regions. Applied Sciences. 2025. V. 15. No. 13. Art. 7505.

24. Sun Y., Xu L., Jing B., Chai X., Li Y. Development of a four-point adjustable lifting crawler chassis and experiments in a combine harvester. Computers and Electronics in Agriculture. 2020. V. 173. Art. 105416.

25. Ni Y., Jin C., Chen M., Yuan W., Qian Z., Yang T., Cai Z. Computational model and adjustment system of header height of soybean harvesters based on soil-machine system. Computers and electronics in agriculture. 2021. V. 183. Art. 105907.

26. Chen M., Zhai X., Zhang H., Yang R., Wang D., Shang S. Study on control strategy of the vine clamping conveying system in the peanut combine harvester . Computers and Electronics in Agriculture. 2020. V. 178. Art. 105744.

27. McPhee J. E., Antille D. L., Tullberg J. N., Doyle R. B., Boersma M. Managing soil compaction – A choice of low-mass autonomous vehicles or controlled traffic? Biosystems Engineering. 2020. V. 195. Pp. 227-241.

28. Godzhaev Z. A., Senkevich S. E., Kuzmin V. A., Ilchenko E. N., Chaplygin M. E., Alekseev I. S., Prilukov A. V. Simulation of the dynamic processes of a low-capacity combine harvester movement. E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. Moscow: EDP Science, 2020. V. 164. Art. 06009.

29. Mishra P. K., Sharma A., Prakash A. Current research and development in cotton harvesters: A review with application to Indian cotton production systems. Heliyon. 2023. V. 9. No. 5. Art. e16124.

30. Saraswati S. O., Purnomo E. D., Aziz A. et al. Performance materials with variations of tractor drive wheel fin angle and low-cost manufacturing analysis. Jurnal Polimesin. 2024. V. 22. No 3. Pp. 299-304.

31. Скорляков В. И., Ревенко В. Ю. Влияние веса жатки на вертикальные воздействия колес зерноуборочного комбайна на почву. Наука в центральной России. 2023. № 4 (64). С. 5-13.

References

1. Komarov V. A., Kurashkin M. I. Study of the performance of grain harvesters during the warranty period. Engineering Technologies and Systems. 2021. V. 31. No 2. Pp. 188-206.

2. Danilov D. Yu., Zavivaev S. N. Technological update of the agricultural machinery and tractor fleet of the region. Bulletin NGIEI. 2024. No 11 (162). Pp. 84-93.

3. Ghonimy M., Alharbi A., Ibrahim M. M. Comprehensive performance assessment of an over-the-row olive harvester. Heliyon. 2025. V. 11. No 10. Art. e43438.

4. Jianpu D., Sun W., Guo X., Simionescu P. A. Parameter analysis and optimization of the conveying and separation device in an Astragalus membranaceus harvester. Industrial Crops and Products. 2025. V. 232. Art. 121321.

5. Aruna T. N., Sahoo P. K., Kushwaha D. K., Pradhan N. C. Static and dynamic cutting forces in coriander crop harvesting: Engineering insights for harvester optimization. Smart Agricultural Technology. 2025. V. 10. Art. 100772.

6. Wang B., Zhu J., Cha X., Liu B., Zhang G., Yao W. Research status and development trend of key technology of agricultural machinery chassis in hilly and mountainous areas. Computers and Electronics in Agriculture. 2024. V. 226. ART. 109447.

7. Kryukova N. S., Ostretsov V. N. Grain combine reliability assessment systems. The International technical-economic journal. 2020. No 1. Pp. 22-28.

8. Zhou X., Liu L., Luo Y., Wang H. Design and Testing of a Lotus Root Harvester with a Collection Device. Smart Agricultural Technology. 2025. V. 12. Art. 101331.

9. Tulentseva E. A., Kanaev M. A. Current state of the market for grain harvesters in the Russian Federation: Technologies, machines and equipment in agriculture '24: collection of scientific papers. Kinel: PLC Samara SAU, 2024. Pp. 14-16.

10. Gromiko A. A., Soltanov V. R. Unmanned combine harvesters in the agricultural sector. Innovative development of modern science: new approaches and relevant research: collection of materials from the International scientific and practical conference. Moscow: Alef. 2023. Pp. 190-192.

11. Gharakhani H., Thomasson J. A., Lu Y. Integration and preliminary evaluation of a robotic cotton harvester prototype. Computers and Electronics in Agriculture. 2023. V. 211. Art. 107943.

12. He Z., Liu Z., Zhou Z., Karkee M., Zhang Q. Improving picking efficiency under occlusion: Design, development, and field evaluation of an innovative robotic strawberry harvester. Computers and Electronics in Agriculture. 2025. V. 237 (C). Art. 110684.

13. Bushueva E.V. New methods and approaches in the combine industry in Russia. Development of Science and Practice in a Globally Changing World in Conditions of Risk: Collection of Proceedings of the XXX International Scientific and Practical Conference. Moscow: LLC Publishing House Economic Education. 2024. Pp. 192-195.

14. Igamberdiev A. A. Storage of agricultural machinery and grain harvesters as a factor in successful operation. Universum: technical sciences. 2019. No 6 (63). Pp. 47-49.

15. Shantyko A. S., Lipskaya V. K. Development of Gomselmash OJSC equipment to solve environmental problems and increase its competitiveness. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2021. No 4. Pp. 100-107.

16. Khater A., Fouda O., El-Termezy G., Abdel Hamid S., El-Tantawy M., El-Beba A., Sabry H., Okasha M. Modification of the rice combine harvester for cutting and binding wheat crop. Journal of Agriculture and Food Research. 2023. V. 14. Art. 100738.

17. Zhu Z., Chai X., Xu L., Quan L., Yuan C., Tian S. Design and performance of a distributed electric drive system for a series hybrid electric combine harvester. Biosystems Engineering. 2023. V. 236. Pp. 160-174.

18. Erokhin G. N., Konovsky V. V. Model of using grain harvesters in an agricultural enterprise. Science in the central Russia. 2017. No 4 (28). Pp. 49-56.

19. Kandelya M. V., Ryabchenko V. N., Emelianov A. M. Development of a grain harvester with a new layout of the technological part. Far Eastern Agricultural Journal. 2012. No 3 (23). Pp. 72-75.

20. Tang Z., Zhang B., Wang M., Zhang H. Damping behaviour of a prestressed composite beam designed for the thresher of a combine harvester. Biosystems Engineering. 2021. V. 204. Pp. 130-146.

21. Bakach N. G., Volodkevich V. I., Shah A. V. Evaluation of the efficiency of using promising models of grain harvesters in various conditions of agricultural organizations. Innovative technologies in the agro-industrial complex – today and tomorrow: collection of scientific articles of the 8th international scientific and practical conference. Gomel: Scientific and technical center for combine construction of JSC Gomselmash, 2024. Pp. 185-188.

22. Otradnov K. V., Kostin S. Yu. Review of promising solutions for the implementation of cruise control systems for agricultural combines and tractors. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2024. No 12-3 (99). Pp. 161-165.

23. Ding R., Qi X., Chen X., Mei Y., Li A. The Current Development Status of Agricultural Machinery Chassis in Hilly and Mountainous Regions. Applied Sciences. 2025. V. 15. No 13. Art. 7505.

24. Sun Y., Xu L., Jing B., Chai X., Li Y. Development of a four-point adjustable lifting crawler chassis and experiments in a combine harvester. Computers and Electronics in Agriculture. 2020. V. 173. Art. 105416.

25. Ni Y., Jin C., Chen M., Yuan W., Qian Z., Yang T., Cai Z. Computational model and adjustment system of header height of soybean harvesters based on soil-machine system. Computers and electronics in agriculture. 2021. V. 183. Art. 105907.

26. Chen M., Zhai X., Zhang H., Yang R., Wang D., Shang S. Study on control strategy of the vine clamping conveying system in the peanut combine harvester. Computers and Electronics in Agriculture. 2020. V. 178. Art. 105744.

27. McPhee J. E., Antille D. L., Tullberg J. N., Doyle R. B., Boersma M. Managing soil compaction – A choice of low-mass autonomous vehicles or controlled traffic? Biosystems Engineering. 2020. V. 195. Pp. 227-241.

28. Godzhaev Z. A., Senkevich S. E., Kuzmin V. A., Ilchenko E. N., Chaplygin M. E., Alekseev I. S., Prilukov A. V. Simulation of the dynamic processes of a low-capacity combine harvester movement. E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. Moscow: EDP Science, 2020. V. 164. Art. 06009.

29. Mishra P. K., Sharma A., Prakash A. Current research and development in cotton harvesters: A review with application to Indian cotton production systems. Heliyon. 2023. V. 9. No 5. Art. e16124.

30. Saraswati S. O., Purnomo E. D., Aziz A. et al. Performance materials with variations of tractor drive wheel fin angle and low-cost manufacturing analysis. Jurnal Polimesin. 2024. V. 22. No 3. Pp. 299-304.

31. Skorlyakov V. I., Revenko V. Yu. Influence of the weight of the header on the vertical impact of the wheels of a combine harvester on the soil. Science in the central Russia. 2023. No 4 (64). Pp. 5-13.

Информация об авторах

Чаплыгин Михаил Евгеньевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), e-mail: misha2728@yandex.ru

Скумин Максим Викторович, инженер, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5), e-mail: skumin88@yandex.ru

Authors' Information

Mikhail Evgenievich Chaplygin, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory, Federal Scientific Agrarian Engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), e-mail: misha2728@yandex.ru

Maksim Viktorovich Skumin, Engineer, Federal Scientific Agrarian Engineering Center VIM (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutsky Proezd, 5), e-mail: skumin88@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-68

THE SCALE REDUCTION IN THE FLOWING WATER SOLUTIONS BY THE ELECTROMAGNETIC WAVES

Sokolov I. Yu., Darmanian A. P., Bogdanov S. I.

Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: adarma@inbox.ru

Received 10.03.2026 Submitted 06.05.2026

Summary

The article presents the results of an experimental study of the reduction of scale formation during the crystallization of calcium carbonate in a flowing aqueous solution under the influence of pulsed electromagnetic waves at different flow rates.

Abstract

Introduction. The formation of solid mineral carbonate deposits on pipe walls (scale) poses a significant problem for heat exchange equipment in water supply systems, as each millimeter of deposit reduces heating power by 5 %. The most effective, cost-effective, and environmentally friendly method for reducing scale deposits on equipment walls is the application of an electromagnetic field (EMF) to a flowing aqueous solution. Devices and instruments that generate various EMFs for influencing aqueous solutions are known; in particular, the Termit device uses pulsed electromagnetic waves to create an EMF. Currently, there are virtually no studies evaluating the effectiveness of this method of reducing scale deposits in heat exchange equipment that are comparable to known and published results, which hinders its effective practical application. **Object.** The process of crystallization of an aqueous solution of calcium carbonate under the influence of electromagnetic waves. **Materials and methods.** The experimental setup was created to study scale formation in flowing aqueous calcium carbonate solutions exposed to electromagnetic waves from a Termit device. An experimental methodology for studying scale formation on pipe surfaces, based on measuring the crystallization rate of an aqueous calcium carbonate solution, was validated. Experiments investigating the effects of electromagnetic fields were conducted using specially prepared "synthetic" water in the form of a supersaturated calcium carbonate solution circulated through an EMF device. Electrical conductivity was measured as a function of circulation time at room temperature and at various solution flow rates. Dimensionless conductivity values, expressed as the ratio of the measured current conductivity of the solution to the initial conductivity, were used to analyze the experimental data. **Results and conclusion.** The experimental study of the electrical conductivity of a calcium carbonate solution as a function of circulation time was conducted using electromagnetic waves from a Termit device at flow rates ranging from 0.043 m/s to 1.1 m/s. It was shown that the typical dependence of the electrical conductivity of a calcium carbonate solution is a smoothly decreasing curve depending on the circulation time (EMF exposure time), with the greatest drop in conductivity occurring in the first hour after EMF exposure. It was found that under laminar conditions, the crystallization rate under EMF exposure is very low and increases abruptly during the transient water flow regime, and then gradually increases in the turbulent regime with increasing solution flow rate. Using the fundamental principles of the magneto-hydrodynamic mechanism of EMF effects on aqueous solutions, a theoretical justification for the experimental results is provided. Comparability of the obtained experimental data with data from foreign authors is demonstrated.

Keywords: *scale formation, electromagnetic field, heat exchange equipment, operation of heat exchange equipment, electromagnetic anti-fouling technology.*

Citation. Sokolov I. Yu., Darmanian A. P., Bogdanov S. I. The scale reduction in the flowing water solutions by the electromagnetic waves. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 623-632 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-68.

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

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

УДК 621.373:628.164

СНИЖЕНИЕ НАКИПИ В ПРОТОЧНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Соколов И. Ю., *аспирант*
Дарманян А. П., *доктор технических наук, профессор*
Богданов С. И., *кандидат технических наук, доцент*

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Актуальность. Образование осадка в виде твердых карбонатов минеральных солей на стенках труб (накипи) представляет огромную проблему для работы теплообменного оборудования в системах водоснабжения, так как каждый миллиметр осадка снижает мощность нагрева на 5 %. Для уменьшения накипи на стенках оборудования наиболее эффективным низкозатратным и экологически чистым способом является воздействие на проточный водный раствор электромагнитным полем (далее ЭМП). Известны устройства и приборы, в которых генерируются различные ЭМП для воздействия на водные растворы. В частности, в приборе Термит, для создания ЭМП используются импульсные электромагнитные волны. Исследований по оценке эффективности данного вида воздействия для снижения накипи в теплообменном оборудовании, сопоставимых с известными и опубликованными результатами, в настоящее время практически нет, что затрудняет его эффективное практическое применение. **Объект.** Процесс кристаллизации водного раствора карбоната кальция под воздействием электромагнитных волн. **Материалы и методы.** Создана экспериментальная установка для исследования процесса образования накипи в проточных водных растворах карбоната кальция под воздействием электромагнитных волн прибора Термит. Обоснована методика экспериментов для изучения образования накипи на поверхности труб, основанная на измерении скорости кристаллизации водного раствора карбоната кальция. В экспериментах по исследованию воздействия ЭМП использована специально приготовленная «синтетическая» вода в виде пересыщенного раствора карбоната кальция, циркулирующая через устройство ЭМП, в которой измеряли электропроводность в зависимости от времени циркуляции при комнатной температуре и при различных скоростях течения раствора. Для анализа экспериментальных данных применены безразмерные величины электропроводности в виде отношения измеренного текущего значения электропроводности раствора к значению электропроводности в начальный момент времени. **Результаты и выводы.** Выполнено экспериментальное исследование электропроводности раствора карбоната кальция в зависимости от времени циркуляции под воздействием электромагнитных волн прибора Термит при различных скоростях течения от 0,043 м/с до 1,1 м/с. Показано, что типичная зависимость электропроводности раствора карбоната кальция представляет плавно убывающую кривую в зависимости от времени циркуляции (времени воздействия ЭМП), причем наибольшее падение электропроводности происходит в первый час после воздействия ЭМП. Выявлено, что при ламинарном режиме под воздействием ЭМП скорость кристаллизации очень низкая и скачкообразно возрастает в переходном режиме течения воды, а затем плавно увеличивается в турбулентном режиме с увеличением скорости течения раствора. С использованием основных положений магнитогидродинамического механизма воздействия ЭМП на водные растворы дано теоретическое обоснование результатам экспериментов. Показана сопоставимость полученных экспериментальных данных с данными зарубежных авторов.

Ключевые слова: *образование накипи, электромагнитное поле, теплообменное оборудование, эксплуатация теплообменного оборудования, электромагнитная противонакипная технология.*

Цитирование. Соколов И. Ю., Дарманян А. П., Богданов С. И. Снижение накипи в проточных водных растворах под воздействием электромагнитных волн. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 623-632. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-68.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Из-за снижения эффективности работы теплообменного оборудования, вызванного образованием накипи на его стенках, предприятия АПК ежегодно несут огромные экономические потери. В воде, используемой в системах водоснабжения независимо от их источника (артезианская, техническая, водопроводная и т. д.), всегда содержатся растворенные в воде минералы в виде гидрокарбонатов кальция $Ca(HCO_3)_2$, магния $Mg(HCO_3)_2$ и других минералов. Эти соли создают определенную «жесткость» воды и являются причиной образования накипи на стенках оборудования (труб), особенно, при повышенной температуре. Для «умягчения» воды используются как химические, так и нехи-

мические методы [1]. В отличие от химических методов, которые изменяют свойства воды, нехимические методы являются экологически чистыми. В настоящее время ученые и практики во многих странах мира пришли к выводу о том, что самый эффективный, экологически чистый и низкозатратный метод снижения накипеобразования является метод обработки воды электромагнитным полем (ЭМП) с принятыми во всем мире аббревиатурами «EMF» и «EAFT» (electromagnetic anti-fouling technology) [1-3].

Данный метод стал развиваться благодаря поистине революционному инженерному открытию бельгийского инженера Т. И. С. Вермейрен, который еще в 1946 г. обнаружил, что при нагревании воды, пересекшей силовые линии магнитного поля, на теплообменной поверхности не образуется накипь. Впоследствии это явление получило название «противонакипной эффект». С тех пор во всем мире проводятся многочисленные исследования этого явления, число которых на сегодняшний день уже превышает 4000 [2] и в последние годы рост научных работ только увеличивается ввиду широкого практического применения данного метода и использования более точных методов экспериментального исследования [1-3].

Во многих странах мира разработаны различные устройства для «умягчения» воды под воздействием ЭМП, которые показали свою эффективность не только в лабораторных, но и в промышленных условиях [4]. Экспериментально доказано, что после воздействия на проточную воду устройствами ЭМП улучшается качество воды из-за снижения ее жесткости («умягчения»), предотвращается образование накипи и уменьшается ее количество на поверхностях оборудования.

В России для предотвращения накипи в теплообменной аппаратуре были разработаны различные устройства ЭМП, в которых используются как постоянные магниты, так и ЭМП. Так предприятием «Экосервис Технохим-М» (г. Москва) разработан прибор Термит, в котором электромагнитное воздействие на воду осуществляется импульсными электромагнитными волнами (далее также – ЭМВ) [5, 6]. Однако, несмотря на использование данного прибора в промышленных условиях, в настоящее время не опубликованы результаты исследований по оценке его эффективности в различных технологических условиях, сопоставимые с аналогичными зарубежными исследованиями.

Надо отметить, что общепринятое мнение ученых во всем мире состоит в том, что несмотря на многообразие научных работ по исследованию противонакипного эффекта в водных растворах под воздействием ЭМП, все они плохо сопоставимы друг с другом из-за различных условий экспериментов и специфических особенностей применяемых ЭМП [1, 3]. Все это не позволяет не только объяснить механизм воздействия ЭМП на водные ионные растворы, но и определить наилучшие условия для практического использования данного метода. Поэтому для выбранных технологических условий всегда требуется отдельное исследование с учетом, прежде всего, конфигурации применяемого ЭМП.

Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение противонакипного эффекта в процессе кристаллизации карбоната кальция в проточных водных растворах под воздействием импульсных электромагнитных волн прибора Термит.

Материалы и методы. Объектом исследования являлся процесс кристаллизации водного раствора карбоната кальция. Как показали многочисленные исследования [1-3], накипь на стенках оборудования – это в основном твердый осадок карбоната кальция $CaCO_3$ в форме кальцита, который образуется в водных растворах в результате взаимодействия катионов кальция Ca^{2+} с анионами угольной кислоты HCO^-_3 согласно следующей химической реакции:

$$Ca^{2+} + 2HCO^-_3 \leftrightarrow CaCO_3\,(\text{тв.}) + H_2CO_3 \qquad (1)$$

Характерная особенность данной реакции заключается в ее обратимости и в типе кристаллической формы образовавшегося $CaCO_3$(тв.) в растворе, который может быть как в форме твердого ромбического кальцита, так и в форме аморфного арагонита [1-3]. Если кальцит, образующийся в обычных условиях (необработанная вода) в количестве до 70 %-80 % от общего количества карбоната кальция, осаждается на стенках и образует накипь (процесс гетерогенной кристаллизации), то образовавшийся арагонит в количестве до 20 %-30 %, обладая меньшей адгезией, остается в растворе (процесс гомогенной кристаллизации) и вымывается водой, не образуя накипи [2].

Другая картина наблюдается в том же растворе, но подвергнутом воздействию ЭМП. В результате протекания той же химической реакции (1) в проточном растворе после воздействия на него ЭМП карбонат кальция $CaCO_3$ (тв.) образуется в форме кальцита, но

уже в меньшем количестве 20-30 %, который осаждается на стенках оборудования, в то время как образовавшийся арагонит в большем количестве 70-80 % остается в растворе и вымывается водой. В этом и заключается противонакипной эффект от воздействия ЭМП на водные растворы карбоната кальция [1-3]. Достоверность этих научных и практических результатов подтверждена многочисленными экспериментальными исследованиями, выполненными с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) и рентгеноструктурного анализа (XRD) [1-4].

Так как в процессе химической реакции (1) и образования твердого кальцита $CaCO_3$ (тв) концентрация катионов кальция Ca^{2+} и анионов угольной кислоты HCO^-_3 уменьшается, то электропроводность раствора со временем также уменьшается, причем, чем выше скорость кристаллизации, тем меньше электропроводность раствора [7, 8]. Поэтому метод измерения скорости кристаллизации карбоната кальция в растворе по измерению его электропроводности был выбран в настоящей работе в качестве косвенного метода оценки противонакипного эффекта.

В последние годы для исследования противонакипного эффекта часто [2, 7-9] особенно в работах китайских авторов [7, 8] стали использовать так называемую «синтетическую воду» повышенной жесткости. Такая вода представляет раствор, составленный из хлорида кальция $CaCl_2$ и карбоната натрия $NaHCO_3$ и процесс образования твердого осадка в виде карбоната кальция $CaCO_3$(тв) объясняется следующей химической реакцией [7, 8]:

$$CaCl_2 + 2NaHCO_3 \leftrightarrow CaCO_3\,(тв) + H_2CO_3 + 2NaCl \qquad (2)$$

Такой пересыщенный раствор карбоната кальция имитирует водопроводную воду, используемую в системах водоснабжения, а также облегчает экспериментальные измерения ввиду более значительного содержания карбонатных солей в растворе, чем в водопроводной воде.

Для проведения экспериментов была создана экспериментальная установка (рисунок 1а) с замкнутым циркуляционным контуром. Источником электромагнитных волн являлся прибор Термит Т-35 [5], который может генерировать импульсное инверсионное напряжение с амплитудой до 33 V и с частотой 1-10 кГц, осциллограмма на выходе которого показана на рисунок 1. Для создания ЭМП в данном приборе используются две намотки проводов-антенн, которые излучают импульсные электромагнитные волны. Провода-антенны навиты на трубу-устройство ЭМП поз. 3 с использованием специальной схемы, схематично показанной на рисунке 1. Труба-устройство ЭМП изготовлена из полипропилена с наружным диаметром 32 мм, внутренним диаметром 21 мм и длиной 380 мм.

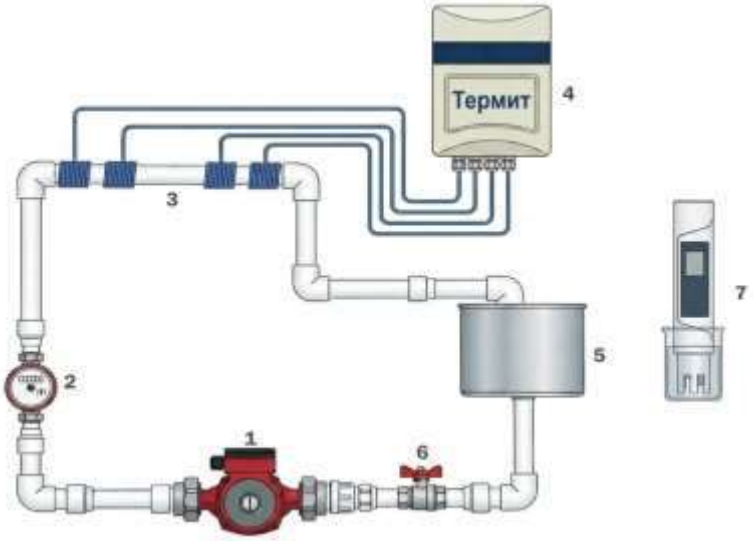


Рисунок 1 – Экспериментальная установка:
1 – насос; 2 – расходомер; 3 – намотка антенн-излучателей; 4 – прибор Термит; 5 – емкость с водой; 6 – шаровый кран-регулятор; 7 – кондуктометр
Figure 1 – Experimental setup:
1 – pump; 2 – flow meter; 3 – winding of antenna emitters; 4 – Termit device; 5 – water container; 6 – ball valve regulator; 7 – conductometer

Для «синтетической воды» использовали емкость поз. 5, в которой готовили пересыщенный раствор с концентрацией карбоната кальция [$CaCO_3$] = 10 моль/м^3. Согласно рекомендациям китайских авторов [7, 8], для приготовления такого раствора брали 5,55 г химически чистого $CaCl_2$ и 8,4 г карбоната натрия (пищевая сода) $NaHCO_3$ (ГОСТ 32802-2014). Отмеренные весовые части реагентов растворяли в 5 л дистиллированной воды, хорошо перемешивали в течение нескольких минут и заливали в емкость поз. 5. В начальный момент времени (t = 0) с помощью ячейки поз. 7 брали пробу раствора объемом 200 мл, в которой прибором типа AP EC/TEMP (диапазон 1-9999 мкСм/см) измеряли начальную жесткость раствора по величине электропроводности, которая находилась в пределах G_0 = 3600 – 4400 (мкСм/см). Затем этим же прибором измеряли температуру раствора, которая была в пределах (20-25)$\pm$1 $^{\circ}$С. После проведения начальных измерений включали насос поз. 1, в результате чего раствор циркулировал в контуре и многократно проходил через трубу-устройство ЭМП поз. 4, в котором водный раствор карбоната кальция подвергался воздействию электромагнитных волн прибора Термит.

Эксперименты проводились при различных расходах, измеряемых расходомером поз. 2, что отвечало значениям скорости течения раствора в диапазоне от 0,043 м/с до 1,1 м/с, что соответствовало условиям экспериментов зарубежных авторов. Затем в течение первого часа через каждые 15 мин (или через несколько часов в зависимости от цели эксперимента) из системы брали пробы раствора объемом 200 мл и измеряли электропроводность G(t) (мкСм/см).

Описанные режимы и методика экспериментов соответствовали условиям, используемым в аналогичных зарубежных исследованиях [1, 2, 7-9], что было необходимо для проведения впоследствии оценки сопоставимости полученных результатов.

Для анализа зависимостей электропроводности от времени циркуляции в своем исследовании мы использовали безразмерную величину электропроводности *G,* которую вычисляли по следующему выражению:

$$G = \frac{G(t)}{G(t=0)}, \quad (3)$$

где G(t) – текущее значение электропроводности, мкСм/см; G(t=0) – значение электропроводности в начальный момент времени, мкСм/см.

Использование безразмерной величины электропроводности *G* в отличие от размерной величины G(t) имеет определенные преимущества [11]. Так, величина *G* согласно (3) не зависит от начального значения электропроводности G(t=0), которое, как правило, бывает различным в экспериментах. Кроме того, использование безразмерной величины *G* позволяет проводить сравнение полученных значений электропроводности с результатами других, в том числе и зарубежных исследований, в которых измеренные значения электропроводности отличаются по абсолютной величине от полученных в данной работе. И наконец, для оценки противонакипного эффекта можно использовать безразмерную скорость изменения этой величины, характеризующую скорость кристаллизации карбоната кальция за определенный период:

$$\text{Безразмерная скорость кристаллизации } CaCO_3 = \frac{\Delta G}{\tau} \cdot 100\ \%, \quad (4)$$

где ΔG – изменение безразмерной величины электропроводности; τ – время циркуляции, ч.

Для анализа полученных экспериментальных данных, как и многие другие исследователи, мы использовали основные положения магнитогидродинамического механизма (magneto-hydrodynamic mechanism, MHD) воздействия ЭМП на водные растворы [1, 2, 7, 9, 13]. Согласно этому механизму, на заряженные ионы Ca^{2+} и HCO^-_3 в водном растворе под воздействием ЭМП кроме гидродинамических сил (сил вязкого трения) действует еще векторная сила $\vec{F}$, равная сумме двух векторов:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot [\vec{v}, \vec{B}], \quad (5)$$

где q – заряд частицы, (Кл); E напряженность электрического поля, (В/м), v – скорость частицы, (м/с); B – магнитная индукция, (Т).

В выражении (5) первый вектор – это сила электростатического поля, действующая на заряженную частицу, а второе слагаемое – это сила Лоренца, которая, будучи векторным произведением скорости $\vec{v}$ на магнитную индукцию $\vec{B}$, перпендикулярна направлению

движения заряженной частицы. Как считают отдельные авторы [7, 8], сила электростатического поля приводит к разнонаправленному движению заряженных частиц Ca^{2+} и HCO^{-}_{3}, что способствует их более интенсивной коагуляции и образованию твердого карбоната кальция. Сила Лоренца только изменяет направление движения заряженных частиц Ca^{2+} и HCO^{-}_{3} , не совершая при этом никакой работы. Однако, согласно теории ДЛФО (Дерягин, Ландау, Фервей, Овербек) сила Лоренца деформирует двойной электрический слой (ДЭС) вокруг заряженной коллоидной частицы кальция Ca^{2+} и тем самым способствует коагуляции заряженных частиц кальция в растворе также с образованием твердого осадка $CaCO_3$(тв) [13].

Результаты и обсуждение. Типичная экспериментальная зависимость электропроводности пересыщенного раствора карбоната кальция («синтетической воды») от времени циркуляции под воздействием ЭМП показана на рисунке 2. Видно, что электропроводность раствора плавно падает со временем, причем максимальное падение электропроводности происходит в первый час циркуляции раствора, а в последующие периоды времени изменение электропроводности незначительное. Это хорошо согласуется с результатами исследований зарубежных авторов [7, 8, 9].

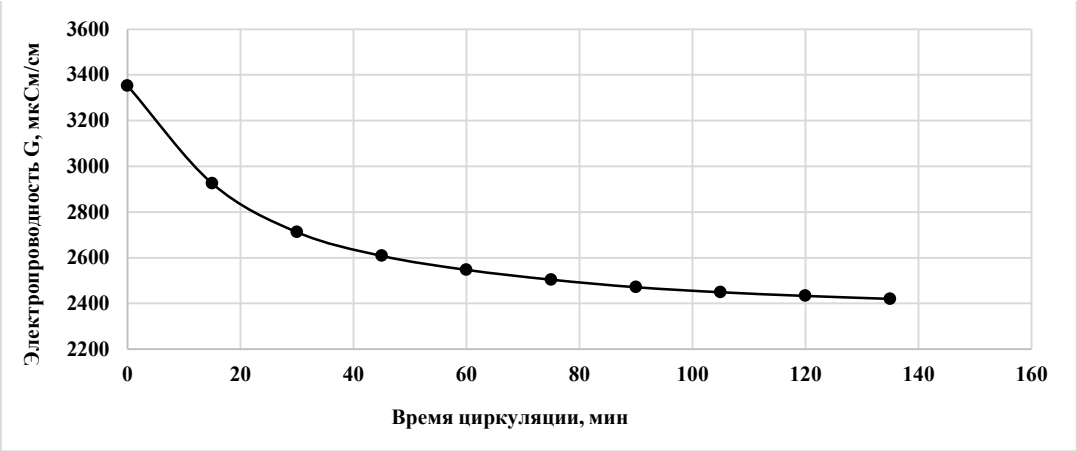


Рисунок 2 – Зависимость электропроводности раствора карбоната кальция от времени циркуляции в турбулентном режиме при скорости воды 0,5 м/с под воздействием электромагнитных волн прибора Термит

Figure 2 – The dependence of the electrical conductivity of a calcium carbonate solution on the circulation time in a turbulent regime at a water speed of 0.5 m/s under the influence of electromagnetic waves of the Termit device

Кроме того, на рисунке 2 на себя обращает внимание тот факт, что воздействие ЭМП на водный раствор карбоната кальция не является мгновенным, а растянуто во времени по крайней мене на несколько минут (или десятков минут). В этой связи нельзя принять рекомендации изготовителя прибора Термит, что нужно устанавливать такой прибор «как можно ближе к защищаемому оборудованию» [5]. В действительности оказывается, что время пребывания раствора карбоната кальция в устройстве ЭМП при средней скорости течения раствора v = 0,5 м/с и длине устройства L = 0,38 м составляет:

$$\tau = \frac{L}{v} = \frac{0{,}38}{0{,}5} = 0{,}8\ c$$

При таком малом времени никаких изменений в растворе карбоната кальция, как показали наши эксперименты (рисунок 2), не происходит и никакого противонакипного эффекта для оборудования ожидать не следует. Наоборот, полученная зависимость свидетельствует о том, что для ощутимого противонакипного эффекта необходимо обеспечить время воздействия ЭМП на раствор по крайней мере в течение одного часа, что можно реализовать только в режиме циркуляции раствора.

Так как цель экспериментального исследования заключается в выявлении таких технологических условий, при которых изменение электропроводности будет максимальным, то в дальнейшем измерения электропроводности раствора проводили в течение первого часа после воздействия ЭМП с интервалом 15 мин. На рисунке 3 приведены полученные зависимости безразмерной величины электропроводности, вычисленные по выраже-

нию (3), от времени циркуляции для различных технологических условий и в сравнении с данными китайских авторов. Как видно из графиков на рисунке 3 падение электропроводности раствора от времени циркуляции зависит от линейной скорости течения раствора, что хорошо согласуется с зарубежными исследованиями [3, 7, 8, 9]. Кроме того, из сравнения полученных зависимостей с аналогичными зависимостями, полученные китайскими авторами [7, 8], чью методику мы использовали, видно, что имеет место соответствие по виду изменения электропроводности от времени, хотя условия экспериментов существенно отличались.

Для того чтобы оценить влияние скорости течения раствора на процесс кристаллизации карбоната кальция под воздействием ЭМП, на рисунке 4 приведена зависимость скорости кристаллизации, вычисленная по выражению (4) для τ = 1 час, от линейной скорости течения раствора.

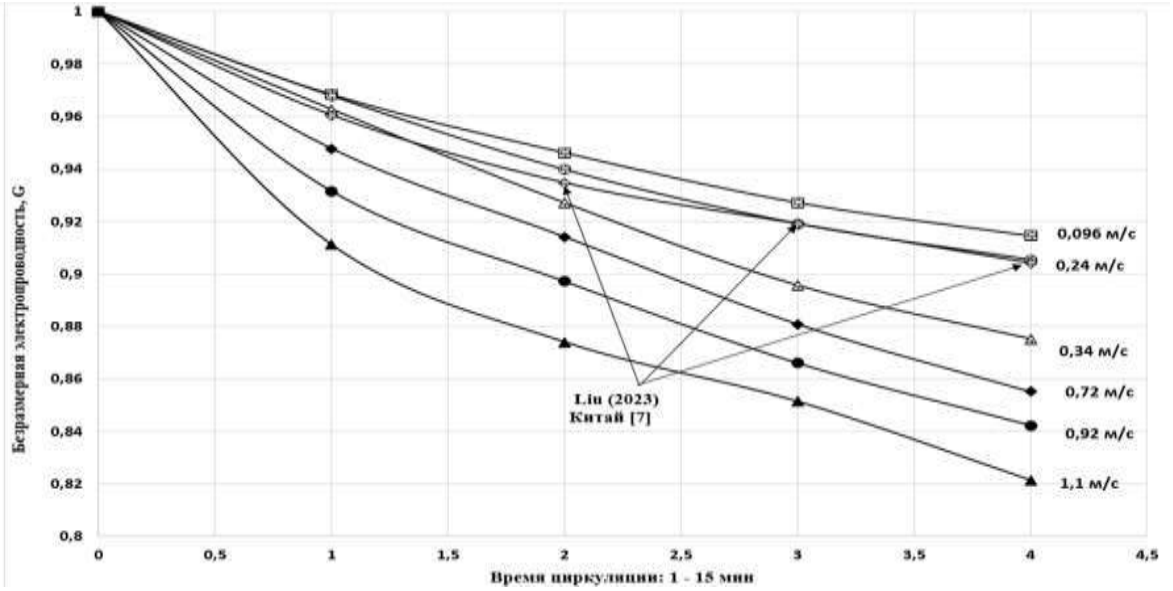


Рисунок 3 – Зависимость безразмерной электропроводности раствора $CaCO_3$ от времени циркуляции под воздействием ЭМП прибора Термит при различных скоростях течения раствора
Figure 3 – Dependence of the dimensionless electrical conductivity of a $CaCO_3$ solution on the circulation time under the influence of the EMF of the Termit device at different flow rates of the solution

Как видно из рисунка 4, скорость кристаллизации $CaCO_3$ очень маленькая (около 4 %) при ламинарном режиме (v =0,043 м/с, критерий Рейнольдса Re = 923) и скачкообразно возрастает до 8,5 % в переходном режиме (v = 0,1 м/с, Re = 1932), увеличиваясь с ростом скорости в турбулентном режиме вплоть до v = 1,1 м/с (Re = 23000), когда она достигнет 15 %. Резкое изменение скорости кристаллизации карбоната кальция при переходе от ламинарного режима к турбулентному соответствует результатам экспериментальных исследований зарубежных авторов [1, 3, 9] и рекомендации производителя прибора Термит о преимуществе турбулентного режима по сравнению с ламинарным [5].

Из сравнения с данными китайских авторов, которые были получены при скорости течения v = 0,6 м/с и показаны на рисунке 4 [7], видно, что, несмотря на существенные различия в использованном типе ЭМП и его конфигурации (форма напряжения и частота), полученные в настоящем исследовании результаты сопоставимы.

Это, с одной стороны, свидетельствует о правильном применении нами методики экспериментов, которую использовали китайские авторы и другие исследователи [7-9]. А с другой стороны, несмотря на то что в работах китайских авторов применялась другая конфигурация ЭМП (генерируемое в соленоиде переменное напряжение 60 V с плавающей частотой 60-75 кГц), результаты оказались сопоставимы с полученными нами, хотя в наших экспериментах использовалось ЭМП с импульсными электромагнитными волнами от проводов-антенн прибора Термит. Этот результат подтверждает вывод многих авторов о том, что конфигурация электромагнитного поля в 90 % случаев дает положительный эффект, но не оказывает существенного влияния на скорость кристаллизации [1, 3].

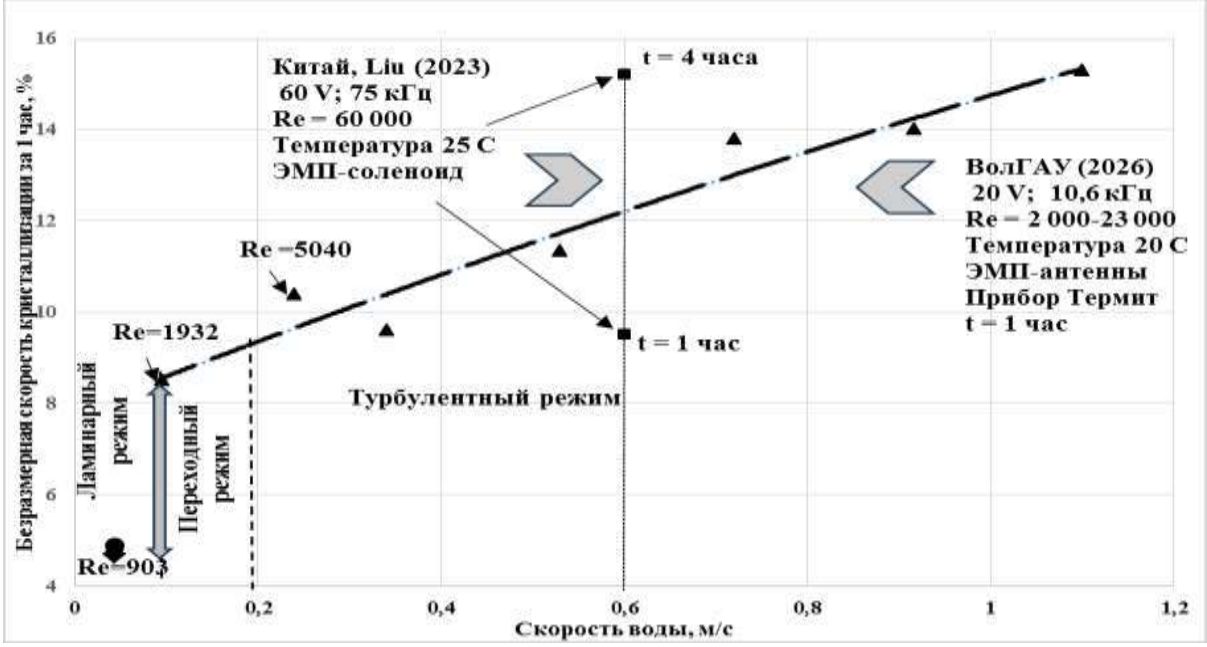


Рисунок 4 – Зависимость безразмерной скорости кристаллизации $CaCO_3$ от скорости течения раствора под воздействием электромагнитных волн прибора Термит
Figure 4 – Dependence of the dimensionless rate of crystallization of $CaCO_3$ on the flow rate of the solution under the influence of electromagnetic waves of the Termit device

Заключение. Выполненный анализ литературных источников показал, что проблема накипеобразования на стенках оборудования имеет огромное значение для предприятий АПК, так как накипь снижает эффективность работы теплообменного оборудования и требует больших финансовых затрат на ремонт и замену оборудования. Среди различных методов снижения накипеобразования метод воздействием ЭМП на воду является наиболее прогрессивным методом, так как является низкозатратным и экологически чистым. На практике применяют различные типы ЭМП, но наибольшую эффективность получили переменные импульсные электромагнитные поля.

На специально созданной установке для исследования воздействия электромагнитных волн прибора Термит отработана методика проведения экспериментов по измерению скорости кристаллизации водного раствора карбоната кальция, который в основном образует накипь. Основу методики составляет измерение электропроводности раствора специально приготовленной «синтетической воды» в виде пересыщенного раствора карбоната кальция. Выполнены экспериментальные исследования по измерению электропроводности раствора при различных скоростях течения от 0,043 м/с до 1,1 м/с при комнатной температуре. Показано, что результаты воздействия импульсных электромагнитных волн прибора Термит на раствор карбоната кальция сопоставимы с данными зарубежных авторов, которые были получены путем воздействия переменным ЭМП в соленоиде. Экспериментально показано, что наиболее эффективное воздействие на кристаллизацию карбоната кальция происходит при переходном и турбулентном течении раствора и при режиме циркуляции, который обеспечивает воздействие ЭМП прибора Термит на раствор не менее 1 часа.

Conclusions. The literature review revealed that the problem of scale formation on equipment walls is of paramount importance for agricultural enterprises, as scale reduces the efficiency of heat exchange equipment and requires significant financial costs for repair and replacement. Among various methods for reducing scale formation, the method of exposing water to electromagnetic fields (EMFs) is the most progressive, as it is cost-effective and environmentally friendly. Various types of EMFs are used in practice, but alternating pulsed electromagnetic fields have proven the most effective.

Using a specially designed setup for studying the effects of electromagnetic waves from the Termit device, a methodology for conducting experiments to measure the crystallization rate of an aqueous solution of calcium carbonate, which primarily forms scale, was developed. The methodology is based on measuring the electrical conductivity of a solution of specially prepared "synthetic water" in the form of a supersaturated calcium carbonate solution. Experimental studies were conducted measuring the solution's electrical conductivity at various flow rates from 0.043 m/s to 1.1 m/s at room tem-

perature. It was demonstrated that the effects of pulsed electromagnetic waves from the Termit device on the calcium carbonate solution are comparable to data obtained by foreign authors using alternating electromagnetic fields in a solenoid. It was experimentally demonstrated that the most effective impact on calcium carbonate crystallization occurs during transient and turbulent flow of the solution and in a circulation mode, which ensures that the Termit device's electromagnetic field is applied to the solution for at least 1 hour.

Библиографический список

1. Alimi F. Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation: the Critical review. Magneto chemistry. 2024. V. 10. I. 83. Pp. 1-23.
2. Boluda-Botella N. et al. Analysis of calcium carbonate scales in water distribution systems and influence of the electromagnetic treatment. Water. 2024. V. 16. Art. 1554.
3. Lu L., Wenbin J., Xuesong X., Pei X. U. A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation. Clean Water. 2020. No 3. Art. 25.
4. Piyadasa C. et al. The influence of electromagnetic fields from two commercially available water-treatment devices on calcium carbonate precipitation. Environmental Science: Water Research and Technology. 2017. № 3 (3). Pp. 566-572.
5. Банников В. В. Электромагнитная обработка воды. Прибор «Термит». 2005. http://termit.etch.ru /publ.php?p=1
6. Банников В. В. Электромагнитная обработка воды. Экология производства, 2004. № 4. С. 25-32.
7. Liu B. et al. Effect of sweep frequency electromagnetic field on CaCO3 scale formation in industrial circulating water. Pol. J. Environ. Stud. 2023. V. 32. No 1. Pp. 145-153.
8. Liu B., Liu N., Wang S., Jia W. Effect of output parameters of electromagnetic anti-fouling technology. International J. Appl. Electromagn. Mech. 2020. No 62. Pp. 433-445.
9. Dosar A. A., Srivastava V. The effect of electromagnetic field on hard water treatment and scale variable flow rate. Turkish Journal of Computer Mathematics Education. 2021. V. 12. No 9. Pp. 3123-3128.
10. Соколов И. Ю., Дарманян А. П. Исследование противонакипного эффекта в теплообменной аппаратуре под воздействием электромагнитного поля. Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1 (35). С. 127-133.
11. Богданов С. И., Дарманян А. П., Маркин М. М. Исследование и математическое моделирование кинетики сушки зерна озимой пшеницы. Известия НВ АУК. 2022. № 2 (66). С. 439-448.
12. Latifa S. B. et al. Effects of magnetic field on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. ChemElectroChem. 2023. No 10. Art. e202300105. https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-04160362v1
13. Кошоридзе С. И., Левин Ю. К. Механизм снижения накипи при магнитной обработке водного потока. Фундаментальные исследования. 2014. № 9. С. 2433-2439.

References

1. Alimi F. Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation: the Critical review. Magneto chemistry. 2024. V. 10. I. 83. Pp. 1-23.
2. Boluda-Botella N. et al. Analysis of calcium carbonate scales in water distribution systems and influence of the electromagnetic treatment. Water. 2024. V. 16. Art. 1554.
3. Lu L., Wenbin J., Xuesong X., Pei X. U. A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation. Clean Water. 2020. No 3. Art. 25.
4. Piyadasa C. et al. The influence of electromagnetic fields from two commercially available water-treatment devices on calcium carbonate precipitation. Environmental Science: Water Research and Technology. 2017. № 3 (3). Pp. 566-572.
5. Bannikov V. V. Electromagnetic water treatment. The Termit device. 2005. http://termit.etch.ru/publ.php?p=1
6. Bannikov V. V. Electromagnetic water treatment. Ecology of Production. 2004. No 4. Pp. 25-32.
7. Liu B. et al. Effect of sweep frequency electromagnetic field on CaCO3 scale formation in industrial circulating water. Pol. J. Environ. Stud. 2023. V. 32. No 1. Pp. 145-153.
8. Liu B., Liu N., Wang S., Jia W. Effect of output parameters of electromagnetic anti-fouling technology. International J. Appl. Electromagn. Mech. 2020. No 62. Pp. 433-445.
9. Dosar A. A., Srivastava V. The effect of electromagnetic field on hard water treatment and scale variable flow rate. Turkish Journal of Computer Mathematics Education. 2021. V. 12. No 9. Pp. 3123-3128.
10. Sokolov I. Yu., Darmanyan A. P. Investigation of the anti-scale effect in heat exchange equipment under the influence of an electromagnetic field. Agrarian industrial technologies of Central Russia. 2025. No 1 (35). Pp. 127-133.
11. Bogdanov S. I., Darmanyan A. P., Markin M. M. Investigation and mathematical modeling of the kinetics of drying winter wheat grain. Proceedings of the NV AUC. 2022. No 2 (66). Pp. 439-448.
12. Latifa S. B. et al. Effects of magnetic field on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. ChemElectroChem. 2023. No 10. Art. e202300105. https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-04160362v1
13. Koshoridze S. I., Levin Yu. K. The mechanism of scale reduction during magnetic treatment water flow. Fundamental Research. 2014. No 9. Pp. 2433-2439.

Информация об авторах

Соколов Иван Юрьевич, аспирант, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26), e-mail: ivanfalcone@yandex.ru
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

Authors' Information
Sokolov Ivan Yurievich, Postgraduate student, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: ivanfalcone@yandex.ru
Darmanyan Anatoly Petrovich, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: adarma@inbox.ru
Bogdanov Sergey Ivanovich, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Avenue, 26), e-mail: bsi@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-69

THE COMPLEX CORROSION PROCESS OF THE CONCRETE STRUCTURES QUANTITATIVE ASSESSMENT DURING THE RECLAMATION HYDRAULIC FACILITIES REHABILITATION

[1]Kovalenko I. A., [2]Pakhomov A. A.

[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: Kovalenko-i@vfanc.ru

Received 10.04.2026 Submitted 22.05.2026

The research was conducted under State Assignment No. 125020401361-1.

Summary
This research quantifies concrete degradation in Lower Volga irrigation infrastructure using field diagnostics, core sampling, and hydro chemical analysis. Combined chemical aggression strongly correlates with strength reduction. Deterioration progresses at 0,12 to 0,8 mm annually. A validated regression model and classification framework optimize rehabilitation planning. Applying differentiated repair techniques achieves 79,4 % long-term savings while preserving structural performance across hydraulic facilities for sustainable infrastructure management.

Abstract
Introduction. This article addresses the pressing issue of progressive degradation of concrete structures in hydraulic facilities in arid regions of Russia. The study focuses on six irrigation systems in the Lower Volga region. The subjects of investigation include channels with enclosed concrete anti-seepage linings and pipe culverts with diameters up to 2,0 meters. Channels were selected as model objects to develop a quantitative degradation assessment methodology, which was subsequently validated for pipe culverts through archival data analysis and consideration of structural features. **Objective.** To conduct a comparative quantitative assessment of the complex degradation process of concrete structures in hydraulic facilities within the Lower Volga irrigation systems, and to develop differentiated, scientifically grounded recommendations for improving their rehabilitation methods. **Methods.** The comprehensive set of laboratory and field techniques was employed, including visual and instrumental inspection, ultrasonic flaw detection, and ground-penetrating radar (GPR) surveying using the OKO-3 system. The impact pulse method was applied using the IPS-MG4.03 device. Laboratory testing included compressive strength tests on core samples and hydro chemical analysis of water samples. At each of the six sites, no fewer than 100 impact pulse measurements were taken, and 3-5 core samples were extracted for destructive testing. **Results:** It was established that the primary factor degrading the cementitious matrix is chemical corrosion induced by combined sulfate-chloride-magnesium aggression. A strong correlation was revealed between the integral water aggressiveness index and the rate of concrete strength reduction (Pearson correlation coefficient $r = -0,87$, $p < 0,01$). It was demonstrated that a concrete strength reduction exceeding 30 % combined with a strength coefficient of variation (CV) > 30 % serve as diagnostic indicators of the transition of degradation processes into the stage of severe structural damage. Degradation rates were calculated to range from 0,12 to 0,8 mm/year. A regression model was developed with a coefficient of determination $R^2 = 0,78$ ($p < 0,001$). Based on cluster analysis, a three-category structural condition classification was proposed, each associated with differentiated technological solutions**. Conclusions.** The empirical relationship was developed linking environmental hadrochemical parameters, the De Martonne aridity index, and the concrete degradation rate. The feasibility of extrapolating the results to pipe culverts was justified by introducing correction factors: 1,15 for chemical corrosion of the cement paste and 0,85 for reinforcement corrosion. Economic analysis demonstrated that applying a differentiated rehabilitation approach can yield savings of up to 79,4 % over a 50-year period for facilities in satisfactory condition.

Keywords: *irrigation systems, technical diagnostics of irrigation systems, non-destructive testing, concrete degradation, waterproofing technologies.*

Citation. Kovalenko I. A., Pakhomov A. A. The complex corrosion process of the concrete structures quantitative assessment during the reclamation hydraulic facilities rehabilitation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 632-650 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-69.

Authors' contributions. All authors of this study took direct part in planning, execution, or analysis of this research. All authors have read and approved the final version presented.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 627.8:624.012.45:620.193.2

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОМПЛЕКСНОГО ПРОЦЕССА КОРРОЗИИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

[1]**Коваленко И. А.,** *инженер-исследователь*
[2]**Пахомов А. А.,** *доктор технических наук, профессор*

[1] ФГБНУ «ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН»
[2] ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено в рамках государственного задания 125020401361-1.

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема прогрессирующей деградации бетонных конструкций гидротехнических сооружений в засушливых регионах России. Объектами исследования выступили шесть оросительные систем Нижнего Поволжья. Предметом исследования являются каналы в бетонной противофильтрационной одежде и трубчатые водопропускные сооружения с диаметром труб до 2,0 метров. Каналы выбраны как модельные объекты для отработки методики количественной оценки деградации, которая затем проверена для водопропускных труб, на основе анализа архивных данных и учета конструктивных особенностей. **Цель.** Проведение сравнительной количественной оценки комплексного процесса деградации бетонных конструкций гидротехнических сооружений на оросительных системах Нижнего Поволжья с разработкой дифференцированных научно-обоснованных рекомендаций по совершенствованию способа их восстановления. **Методы:** Применен комплекс лабораторно-полевых методов, визуальный и инструментальный контроль, ультразвуковая дефектоскопия, георадарное зондирование с применением георадара «ОКО-3». Метод ударного импульса, прибор ИПС-МГ4.03. А также лабораторные испытания кернов на сжатие, гидрохимический анализ проб воды. На каждом из шести объектов выполнено не менее 100 измерений методом ударного импульса, отобрано по 3-5 кернов для разрушающего контроля. **Результаты:** установлено, что основным фактором деградации цементного покрытия является химическая коррозия, индуцированная комплексной сульфатно-хлоридно-магнезиальной агрессией. Выявлена сильная корреляция между интегральным показателем агрессивности водной среды и скоростью снижения прочности бетона (коэффициент корреляции Пирсона $r = -0{,}87$, $p < 0{,}01$). Нами было доказано, что снижение прочности бетона более 30 % и коэффициент вариации прочности CV > 30 % являются диагностическими признаками перехода деградационных процессов в стадию глубокого структурного повреждения.

Рассчитаны скорости деградации от 0,12 до 0,8 мм/год. Построена регрессионная модель с коэффициентом детерминации $R^2 = 0{,}78$ ($p < 0{,}001$). На основе кластерного анализа предложена классификация состояния конструкций по трем категориям с дифференцированными технологическими решениями. **Выводы:** Разработана эмпирическая зависимость, связывающая гидрохимические параметры среды, климатический индекс аридности Де Мартонна и скорость деградации бетона. Обоснована возможность экстраполяции результатов на водопропускные сооружения с введением поправочных коэффициентов: 1,15 для химической коррозии цементного камня и 0,85 для коррозии арматуры. Оценка по методу анализа жизненного цикла при ставке дисконтирования 8 % показала, что стратегия профилактического обслуживания для объектов категории III снижает совокупные затраты на ~79 % относительно полной замены в 50-летнем горизонте.

Ключевые слова: *оросительные системы, техническая диагностика оросительных систем, неразрушающий контроль, деградация бетона, гидроизоляционные технологии.*

Цитирование. Коваленко И. А., Пахомов А. А. Количественная оценка комплексного процесса коррозии бетонных конструкций при восстановлении мелиоративных гидротехнических сооружений. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 632-650. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-69.
Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного научного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Устойчивое функционирование мелиоративного комплекса является критически важным условием продовольственной независимости России, особенно в условиях изменения климата и возрастающей аридизации южных регионов.

В соответствии с Указом Президента РФ от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», одной из приоритетных задач является обеспечение устойчивости и экологичности экономического развития, что напрямую связано с эффективным использованием водных ресурсов и сохранением мелиоративной инфраструктуры.

Достижение национальных целей требует перехода к научно обоснованным методам управления жизненным циклом гидротехнических сооружений, основанным на количественной оценке их технического состояния и прогнозировании остаточного ресурса.

Оросительные системы Нижнего Поволжья, обеспечивающие водой сотни тысяч гектаров сельскохозяйственных земель, в значительной степени исчерпали свой проектный ресурс. Многие гидротехнические сооружения, построенные в середине двадцатого века, находятся в состоянии физической деградации. Это приводит к катастрофическим потерям воды, снижению продуктивности земель и экологическим рискам, таким как подтопление и вторичное засоление почв.

Скрытые дефекты водопропускных сооружений (труб-переездов, коллекторов, дюкеров) остаются вне регулярного мониторинга из-за ограниченной визуальной доступности, что повышает риск внезапных отказов.

Актуальностью настоящего исследования является необходимость перехода от локальных косметических ремонтов к научно обоснованной комплексной реконструкции. Ключевым ограничением планирования работ остаётся отсутствие количественной оценки скорости деструкции. Долговечность конструкций в каналах Юга России определяется не только классом бетона, но и гидрохимическим режимом эксплуатации. Минерализация воды (> 3-5 г/л) запускает химическую коррозию, тогда как физико-механическое разрушение обусловлено циклами замораживания-оттаивания и биологическим обрастанием. Сульфатная агрессия (при SO_4^{2-} > 1000 мг/л) ведёт к образованию эттрингита, увеличивающего объём твёрдой фазы на 120-220 %. Хлориды (Cl^- > 500 мг/л) инициируют точечную коррозию арматуры, а ионы магния выщелачивают $Ca(OH)_2$ с формированием брусита и распадом C-S-H-фаз. В зоне переменного увлажнения фиксируется формирование кристаллизационного давления солей в капиллярной сети и реализуется воздействие зимних циклов замораживания-оттаивания (40-60 циклов), в результате чего фиксируется шелушение бетонной облицовки.

Формирование микроканалов, обусловленное биообрастанием, фиксируется через регистрационные параметры, выражающиеся в увеличении коэффициента фильтрации бетонного массива на 15-30 % и в облегчении миграции агрессивных ионов, при этом отсутствие в моделях учета гидрохимического градиента Нижнего Поволжья и доминирование описательных публикаций, ориентированных на лабораторные образцы без последующей валидации в действующих каналах, обусловливают затруднение формирования зависимостей, связывающих скорость деградации с оперативными параметрами, включающими минерализацию воды, частоту циклов «увлажнение-высыхание» и водопроницаемость бетонной облицовки.

Отдельно стоит отметить проблему экстраполяции результатов исследований на водопропускные сооружения, которые работают в схожих гидрохимических условиях, но имеют конструктивные особенности. К ним относятся замкнутый объем, постоянное давление воды, ограниченная доступность для осмотра и ремонта, а также иной режим газообмена.

Механизмы коррозии в таких сооружениях могут протекать с иной интенсивностью из-за различий в концентрации растворенного кислорода и скорости потока воды. Поэтому требуется специальное обоснование применимости разработанных моделей для труб и коллекторов, что является важным вкладом данной работы.

Гипотеза исследования заключается в том, что скорость комплексной деградации бетона в мелиоративных сооружениях Нижнего Поволжья может быть количественно оценена с использованием зависимости, интегрирующей показатель химической агрессивности воды с учетом синергии ионов сульфатов, хлоридов и магния, а также климатический индекс, характеризующий аридность территории. При этом для водопропускных сооружений необходимо введение поправочного коэффициента на условия эксплуатации в замкнутом объеме.

В ходе исследований проведена количественная и качественная оценка скорости механизма деградации бетонного покрытия. На этой основе, были разработаны дифференцированные научно-обоснованные рекомендаций по совершенствованию способа их восстановления.

Задачи исследования включают:

1. Проведение сравнительного анализа агрессивности водной и грунтовой среды на объектах исследований и расчет интегральных показателей агрессивности с учетом современных подходов к оценке взаимодействия ионов.

2. Выполнение количественной оценки физико-механического состояния бетонных конструкций с помощью комплекса методов неразрушающего и разрушающего контроля с последующей статистической обработкой данных.

3. Установление корреляционных зависимостей между параметрами среды, климатическими индексами и показателями деградации бетона с применением методов множественной регрессии и оценки статистической значимости.

4. Классификацию состояния сооружений на основе кластерного анализа рассчитанных скоростей деградации и коэффициентов вариации свойств бетона и предложение дифференцированных технологических решений для восстановления в зависимости от выявленной категории состояния с экономическим обоснованием.

5. Обоснование возможности экстраполяции полученных результатов на водопропускные сооружения мелиоративных систем с учетом их конструктивных особенностей.

Методы исследований. Объектами исследований являются шесть оросительных систем (рисунок 1), расположенных в различных природно-климатических зонах Нижнего Поволжья и характеризующихся разной степенью износа.

При выборе объектов учитывался градиент аридности климата от степной до полупустынной зоны, что позволило исследовать влияние климатического фактора на интенсивность деградационных процессов. Все сооружения эксплуатируются в условиях постоянного контакта с минерализованными водами различной степени агрессивности.

Для анализа применимости разработанных методов к водопропускным сооружениям были дополнительно изучены 12 бетонных труб диаметром 1,5 и 2,0 метра на тех же системах, эксплуатируемым в аналогичных гидрохимических условиях.

Рисунок 1 – Карта-схема расположения объектов исследуемых оросительных систем Нижнего Поволжья

Figure 1 – Map of the location of the studied irrigation systems in the Lower Volga region

Исследования включали комплекс полевых, лабораторных и расчетно-статистических методов, реализованных в три этапа.

Первый этап – гидрохимический анализ. На каждой оросительной системе в характерных точках (головной участок, сброс, лиман, зона подтопления) было отобрано по 5-7 проб поверхностных и грунтовых вод (рисунок 2), а также образцы грунта из зоны контакта с бетоном. Всего отобрано 42 пробы воды и 36 образцов грунта Анализ проводился в аккредитованной лаборатории ФНЦ агроэкологии РАН.

Рисунок 2 – Отобранные образцы грунтовых вод
Figure 2 – Collected groundwater samples

Определение концентраций ионов проводилось согласно следующим методикам:
- сульфаты (SO_4^{2-}) – по ГОСТ 26449.1-85 турбидиметрическим методом;
- хлориды (Cl^-) – по ГОСТ 26449.2-85 аргентометрическим титрованием;
- кальций (Ca^{2+}) и магний (Mg^{2+}) – титриметрически по ГОСТ 26449.4-85 с трилоном Б;
- натрий (Na^+) и калий (K^+) – пламенно-фотометрическим методом;
- бикарбонаты (HCO_3^-) – титрованием соляной кислотой;
- pH и электропроводность – по ГОСТ 26449.5-85 с использованием иономеров и кондуктометров.

Климатические данные по осадкам и температуре были получены из открытых данных Росгидромета.

Для каждой оросительной системы выполнено вычисление интегрального показателя агрессивности (IA), представляющего собой адаптацию исходных моделей и осуществленного с учетом синергетического эффекта, детерминируемого присутствием сульфатов, хлоридов и магния.

$$IA = \sqrt{(CSO4 + k \cdot CCl) \cdot (1 + \alpha \cdot CMg)} \quad (1)$$

где: CSO_4 – величина, представляющая собой массовую концентрацию сульфат-ионов, выраженную в г/л; CCl – величина, представляющая собой массовую концентрацию хлорид-ионов, выраженную в г/л; CMg – величина, представляющая собой массовую концентрацию ионов магния, выраженную в г/л.

Коэффициент k = 0,6 обоснован эмпирически и представлен как результат интерпретации совокупности данных, указывающих на более интенсивное разрушение цементного камня под воздействием сульфатов посредством формирования эттрингита и гипса, тогда как воздействие хлорид-ионов проявляется преимущественно через коррозионное поражение арматуры.

Результаты исследований фиксируют, что при эквивалентных молярных концентрациях сульфат-ионов наблюдается снижение прочности бетона на сжатие в пределах 35-40 %, тогда как воздействие хлорид-ионов сопровождается уменьшением прочности в пределах 20-25 %.

Коэффициент α = 0,2 получен посредством применения метода наименьших квадратов к статистической совокупности, состоящей из 50 стандартных кубических образцов 100×100×100 мм, подвергнутых экспозиции в растворах с заданной концентрацией ионов Mg^{2+} (0-500 мг/л) в течение 180 суток. Образцы изготавливались из бетона класса В25 на портландцементе ЦЕМ I 42,5Н. Испытания на сжатие проводились каждые 30 суток. При данных значениях коэффициентов достигается наилучшая корреляция между расчетным показателем IA и фактической скоростью деградации бетона (R^2 = 0,78).

Расчет интегрального показателя агрессивности на примере Генераловской ОС:

исходные данные (максимальные концентрации): CSO_4 = 1250 мг/л = 1,25 г/л; CCl = 890 мг/л = 0,89 г/л; CMg = 210 мг/л = 0,21 г/л.

$$IA = 1{,}25 + 0{,}6 \cdot 0{,}89 + 0{,}2 \cdot 0{,}21 = 1{,}826 \quad (2)$$

Второй этап – оценка состояния бетонных конструкций.

Визуальный осмотр включал картирование дефектов (рисунок 3) (трещины, сколы, шелушение, обнажение арматуры, биоповреждения) с нанесением на схемы сооружений. Для наглядности выполнялось фотодокументирование характерных дефектов с привязкой к координатам GPS.

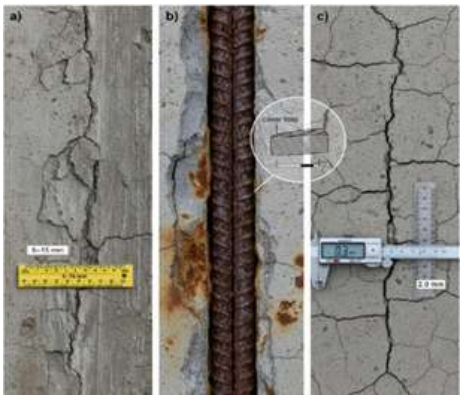


Рисунок 3 – Фотографии характерных дефектов бетонных конструкций мелиоративных сооружений
Figure 3 – Photographs of characteristic defects in concrete structures of reclamation hydraulic facilities

Неразрушающий контроль проводился методом ударного импульса с применением прибора ИПС-МГ4.03 согласно ГОСТ 22690-2015 (рисунок 4).

На каждом объекте выполнено не менее 100 измерений на участках размером 2×2 метра с шагом 20 сантиметров (N = 100-150 для каждой системы).

Предварительно построена градуировочная зависимость между показателем прочности и результатами испытаний на сжатие отобранных кернов.

Рисунок 4 – Применение прибора ИПС-МГ4.03 для неразрушающего контроля прочности бетона «Генераловская ОС»
Figure 4 – Application of the IPS-MG4.03 device for non-destructive testing of concrete strength at the "Generalovskaya" irrigation system

Георадарное обследование проводилось с применением георадара «ОКО-3» с антенными блоками 150/400 МГц и 1200 МГц. Профилирование позволяло выявлять внутренние расслоения, пустоты, трещины и определять толщину защитного слоя бетона над арматурой (рисунок 4).

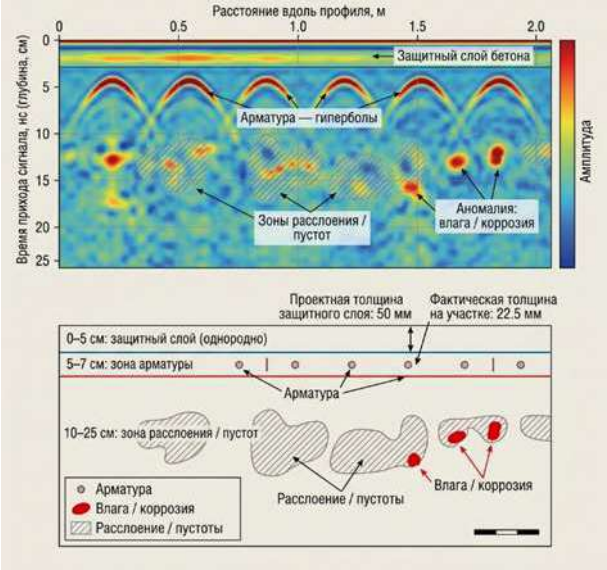


Рисунок 5 – Георадарный профиль бетонной конструкций ОС с дефектом
Figure 5 – Ground-penetrating radar (GPR) profile of a concrete structure in the irrigation system showing a defect

Толщина защитного слоя $h_{общ}$ принята равной 50 мм по типовым проектам, однако на объектах с высокой степенью износа она подтверждалась данными георадара и контрольными вскрытиями.

Разрушающий контроль включал отбор по 3-5 бетонных кернов диаметром 50 мм и высотой 50-100 мм с каждого объекта. Всего отобрано 27 кернов. Испытания на одноосное сжатие проведены на универсальной испытательной машине МИИ-100 (рисунок 6) согласно ГОСТ 10180-2012. Скорость нагружения составляла 0,5 ± 0,2 МПа/с.

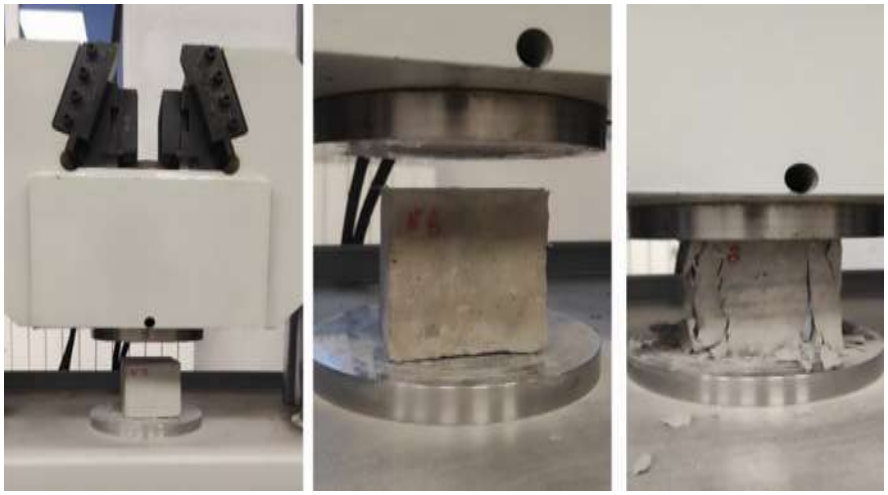


Рисунок 6 – Испытания образцов кубов на МИИ-100
Figure 6 – Compression testing of concrete cube specimens on the MII-100 machine

Для каждой выборки данных рассчитаны среднее арифметическое ($\bar{X}$); стандартное отклонение (σ); коэффициент вариации ($CV = \sigma/\bar{X} \times 100$ %).

Различия между группами объектов проверялись с помощью однофакторного дисперсионного анализа при уровне значимости $p < 0,05$. Корреляционный анализ проведен с расчетом коэффициента корреляции Пирсона (r).

Для определения диагностического порога снижения прочности проведен ROC-анализ (Receiver Operating Characteristic) с расчетом площади под кривой (AUC), чувствительности и специфичности различных пороговых значений.

Расчет скорости коррозии проводился по формуле:

$$D_m = h_{изн} / T \quad (3)$$

где: D_m – средняя скорость коррозии, мм/год; $h_{изн}$ – средняя глубина разрушения защитного слоя бетона, определенная по данным георадарного обследования и вскрытия дефектных участков, мм; T – возраст сооружения, лет.

Пример расчета: Для Генераловской ОС (возраст T = 45 лет) средняя глубина разрушения защитного слоя $h_{изн}$ = 22,5 мм.

$$D_m = 22{,}5 / 45 = 0{,}50 \text{ мм/год} \quad (4)$$

Прогноз остаточного ресурса защитного слоя $T_{ост}$, рассчитывался для участков, где защитный слой не был полностью разрушен:

$$T_{ост} = (h_{общ} - h_{изн}) / D_m, \quad (5)$$

где: $h_{общ}$ – исходная толщина защитного слоя, принята 50 мм по типовым проектам.

$$T_{ост} = (50 - 22{,}5) / 0{,}50 = 55 \text{ лет} \quad (6)$$

Однако с учетом ускорения коррозии со временем реальный остаточный ресурс будет меньше. Для практических целей применяем коэффициент запаса 0,6

$$T_{\text{ост_реальный}} = 55 \cdot 0{,}6 = 33 \text{ года} \quad (7)$$

Для прогнозной оценки на основе гидрохимических данных использовалась эмпирическая модель, параметры которой были получены методом множественной регрессии на обучающей выборке из 50 образцов и верифицированы на 6 оросительных системах.

$$V_{\text{корр}} = 0{,}021 \cdot IA + 0{,}15 \cdot IDM^{\text{И}} - 0{,}18 \quad (8)$$

где: $V_{корр}$ – скорость коррозии бетона, мм/год; IA – интегральный показатель агрессивности, усл. ед.; IDM – индекс аридности Де Мартонна.

Индекс аридности Де Мартонна рассчитывался по формуле:

$$IDM = P / (T + 10) \quad (9)$$

где: P – годовое количество осадков, мм; T – среднегодовая температура, °C.

Пример расчета индекса аридности: P = 320 мм/год; T = 7,5 °C.

$$IDM = 320 / (7{,}5 + 10) = 320 / 17{,}5 = 18{,}3 \quad (10)$$

Значение IDM=18,3 соответствует полуаридному (полусухому) климату согласно классификации Де Мартонна, (значения 10-20 соответствуют степному климату).

$$IDM^{(-1)} = 1/12{,}5 = 0{,}08 \quad (11)$$

$$V_{\text{корр}} = 0{,}021 \cdot 61{,}4 + 0{,}15 \cdot 0{,}08 - 0{,}18 = 1{,}2894 + 0{,}012 - 0{,}18 = 1{,}1214 \approx 0{,}51 \text{ мм/год} \quad (12)$$

Модель объясняет 78 % дисперсии наблюдаемых значений (R^2 = 0,78, F = 47,3, $p < 0{,}001$), что позволяет применять её для экспресс-оценки рисков при плановых инспекциях без лабораторных испытаний. Обоснование экстраполяции на водопропускные сооружения. В отличие от открытых каналов, эксплуатация водопропускных труб и коллекторов осуществляется в условиях замкнутого гидравлического контура, что предопределяет специфику протекания коррозионных процессов.

Ключевые факторы рассматриваются как совокупность эксплуатационных условий, детерминирующих интенсификацию коррозионно-деструктивных процессов в бетонных конструкциях и характеризующихся дефицитом солнечного излучения, снижением ветрового испарения, поддержанием высокой относительной влажности (95-100 %), отсутствием разбавления агрессивных ионов осадками и ограниченностью газообмена.

Для оценки влияния указанных факторов на скорость деградации бетона осуществлен анализ архивных данных, охватывающий 12 труб диаметром 1,5-2,0 м, эксплуатируемых в сходных гидрохимических условиях.

На основании регрессионного анализа и обобщения литературных данных предложены поправочные коэффициенты, обеспечивающие учет специфики водопропускных сооружений и предназначенные для корректировки оценок скоростей деградации в условиях, характерных для рассматриваемой группы объектов.

$$V_{\text{корр_труба}} = V_{\text{корр}} \cdot k_{\text{цем}} \cdot k_{\text{арм}} \quad (13)$$

где: $V_{\text{корр_труба}}$ – прогнозируемая скорость комплексной коррозии бетона в водопропускной трубе, мм/год; $V_{\text{корр}}$ – базовая скорость коррозии, рассчитанная по регрессионной модели для открытых каналов, и составляет 0,501 мм/год; $k_{\text{цем}}$=1,15 – коэффициент усиления химической коррозии цементного камня; $k_{\text{арм}}$=0,85 – коэффициент снижения электрохимической коррозии арматуры.

Таким образом, для водопропускных труб общая скорость деградации близка к скорости для каналов, но механизмы имеют разную природу.

$$V_{\text{корр_труба}} = 0{,}501 \cdot 1{,}15 \cdot 0{,}85 = 0{,}489 \text{ мм/год} \quad (14)$$

Результаты и их обсуждение. Результаты гидрохимического анализа подтвердили наличие четкого градиента возрастания минерализации и концентрации агрессивных ионов. Наиболее высокие концентрации сульфатов и хлоридов зафиксированы в лиманах и зонах сброса дренажных вод, где происходит испарение и концентрирование солей (таблица 1). Это коррелирует с увеличением индекса аридности.

Таблица 1 – Сводные гидрохимические показатели водной среды исследуемых ОС (максимальные значения) и расчетный интегральный показатель агрессивности (IA)
Table 1 – Summary of hydro-chemical parameters of the water environment in the studied irrigation systems (maximum values) and the calculated integral aggressiveness index (IA)

ОС / Irrigation system	Минерализация, г/л / Mineralization, g/l	SO_4^{2-}, мг/л / mg/l	Cl^-, мг/л / mg/l	Mg^{2+}, мг/л / mg/l	pH	IA, усл. ед. / conventional units	IDM
Нижне-Донская / Nizhne-Donskaya	1,6	320	114	44	7,8	19,2	22,5
Заволжская / Zavolzhskaya	2,6	740	580	150	8,1	43,1	16,8
Коммунар / Kommunar	1,8	410	297	78	8,0	27,8	20,1
Генераловская / Generalovskaya	4,8	1250	890	210	8,3	61,4	12,5
0-71 (зона испар.) / 0-71 (evaporation zone)	3,2	950	650	185	8,2	49,7	14,2
Палласовская / Pallasovskaya	2,1	610	410	95	7,9	33,2	18,3

Примечание: IDM – индекс аридности Де Мартонна; IA – интегральный показатель агрессивности.
Note: IDM is the De Martonne aridity index; IA is the integral aggressiveness index.

Количественная оценка состояния бетона и статистический анализ демонстрируют значительную неоднородность состояния бетона как между объектами, так и в пределах одного сооружения (таблица 2).

Коэффициент вариации прочности оказался наиболее чувствительным индикатором структурной деградации. Для объектов, характеризуемых высоким интегральным показателем агрессивности (Генераловская, «0-71», Палласовская), фиксируется значение коэффициента вариации прочности, превышающее 40 %, что интерпретируется как проявление критической неоднородности материальной структуры, обусловленной коррозионной деградацией, тогда как в отношении объектов с более низким уровнем агрессии (Нижне-Донская, Заволжская, Коммунар) наблюдаемый предел коэффициента вариации не превышает 25 %, что рассматривается как индикатор относительной сохранности структурных характеристик.

Таблица 2 – Результаты оценки физико-механического состояния бетона на исследуемых ОС
Table 2 – Results of the assessment of the physico-mechanical condition of concrete in the studied irrigation systems

ОС / Irrigation system	Прочность, % от проектной (22,5 МПа) / Strength, % of design strength (22.5 MPa)		Глубина дефектов (георадар), см / Depth of defects (georadar), cm	УЗС, км/с (норма >3,5) / US, km/s (norm >3.5)	Наличие обнаж. арматуры / Presence of exposed reinforcement
Нижне-Донская / Nizhne-Donskaya	72 (16,2МПа)	25,0	10-15	3,8-4,1	Локально / Locally
Заволжская / Zavolzhskaya	86 (19,4 МПа)	21,2	10-20	3,9-4,2	Единично / Individually
Коммунар / Kommunar	86 (19,4 МПа)	20,5	До 25	3,7-4,0	Локально / Locally
Генераловская / Generalovskaya	53 (11,9МПа)	57,8	До 50	2,5-3,5	Массово / Massively
0-71 (зона испар.) / 0-71 (evaporation zone)	56 (12,6МПа)	53,1	25-35	3,8-3,6	Массово / Massively
Палласовская / Pallasovskaya	62 (14,0МПа)	45,7	До 60	2,9-3,7	Массово на критичных участках / Massively in critical areas

Примечание: CV – коэффициент вариации; УЗС – скорость ультразвука.
Note: CV is the coefficient of variation; USV is the speed of ultrasound.

В результате однофакторного дисперсионного анализа зафиксировано статистически значимое различие между группами объектов, выделенными на основе интегрального показателя агрессивности, при этом группа с высоким уровнем (IA > 40) и группа с низким уровнем (IA < 30) демонстрируют различия по совокупности исследуемых параметров.

По показателю прочности бетона зафиксировано значение $F = 18,42$ при $p < 0,001$, по коэффициенту вариации зарегистрировано значение $F = 24,15$ при $p < 0,001$, по скорости ультразвука отмечено значение $F = 15,67$ при $p < 0,01$.

Георадарная диагностика представлена выявлением поверхностных и глубинных дефектов, включая расслоения и пустоты, при этом фиксируется корреляционная связь указанных дефектов с зонами, характеризующимися пониженной скоростью ультразвука и повышенным коэффициентом вариации.

Коррозионный процесс характеризуется развитием не только с поверхностных участков, но и по внутренним трещинам.

В целях выявления количественных взаимосвязей осуществлен корреляционный анализ исследуемых параметров (рисунок 7), в ходе которого зарегистрированы статистически значимые корреляции.

В исследуемой совокупности наблюдений фиксируется отрицательная корреляционная взаимосвязь между интегральным показателем агрессивности IA и остаточной прочностью бетона, представленная коэффициентом корреляции $r = -0,87$, $p < 0,01$.

Фиксируется положительная корреляционная зависимость между интегральным показателем агрессивности IA и коэффициентом вариации прочности в исследуемой совокупности данных, выраженная коэффициентом корреляции $r = 0,78$, $p < 0,01$.

Значимая отрицательная корреляция между IA и скоростью ультразвука: $r = -0,79$, $p<0,05$.

Полученные результаты исследования представляют собой эмпирическое основание и рассматриваются как подтверждение того, что интегральный показатель IA интерпретируется как индикатор степени деструктивного воздействия окружающей среды на структурную целостность бетонных конструкций.

На основе рассчитанных данным скоростей коррозии для каждого объекта была построена регрессионная модель зависимости скорости коррозии от интегрального показателя агрессивности и климатического индекса (обратного индексу аридности как меры аридности).

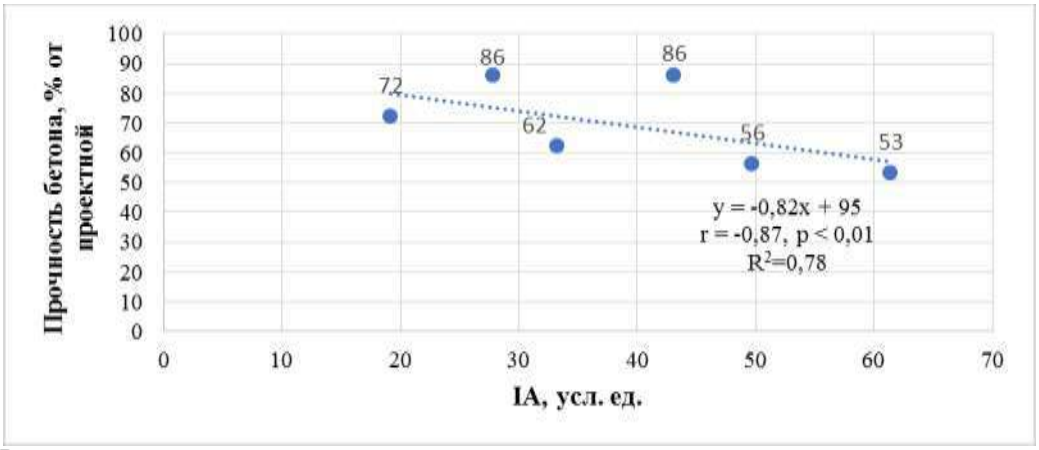


Рисунок 7 – представлен в виде диаграммы рассеяния с нанесенной линией регрессии, в рамках которой осуществляется сопоставление IA и реализуется оценка зависимости прочности бетона, выраженной в процентах от проектной величины

Рисунок 7 – Воспроизводится диаграмма рассеяния с проведенной линией регрессии, в пределах которой осуществляется корреляционный анализ интегрального показателя агрессивности (IA) и прочности бетона, фиксируемой в процентах от проектного значения (% of design value)

Figure 7 is presented as a scattering diagram with a regression line applied, within which IA is compared and the dependence of concrete strength, expressed as a percentage of the design value, is estimated.

Figure 7 – A scattering diagram is reproduced with a regression line drawn, within which a correlation analysis of the integral indicator of aggressiveness (IA) and concrete strength is carried out, fixed as a percentage of the design value (% of design value)

Образцы бетона размером 100×100×100 мм, экспонированные в лабораторных условиях в растворах с различными концентрациями SO_4^{2-}, Cl, Mg^{2+} и при различных значениях индекса аридности (имитация циклов увлажнение-высыхание). На этой выборке определены коэффициенты регрессии методом наименьших квадратов.

Тестовая выборка (n = 6): Шесть оросительных систем, на которых проведена верификация модели в натурных условиях.

Для количественной оценки скорости коррозии ($V_{корр}$, мм/год) построена множественная регрессионная модель,

$$V_{корр} = 0{,}021 \cdot IA + 0{,}15 \cdot IDM^{(-1)} - 0{,}18 \quad (16)$$

где: IA – интегральный показатель агрессивности воды (мг-экв/л); $IDM^{(-1)}$ – индекс аридности с лагом 1 год, отражающий влияние предшествующего климатического цикла.

Модель обладает высокой объясняющей способностью (R^2 = 0,78, F = 47,3, p < 0,001): 78 % дисперсии скорости коррозии обусловлено вариацией гидрохимических и климатических предикторов. Стандартная ошибка прогноза (0,043 мм/год) сопоставима с точностью ультразвуковой толщинометрии.

Наибольший вклад в деградацию вносит гидрохимический фактор (β = 0,021, t = 8,42): увеличение минерализации на 1 мг-экв/л ускоряет коррозию на 0,021 мм/год. Климатический предиктор (β = 0,15) рассматривается как статистически значимый, при этом величина его влияния установлена как в 4,5 раза меньшая по сравнению с гидрохимическим фактором, что выступает в роли эмпирического основания для интерпретации доминирования химической агрессии на Юге России, и при доверительном уровне 95 % интервал оценки коэффициента при IA (0,016-0,026) не включает нулевого значения, что фиксирует статистическую устойчивость параметра минерализации, тогда как интервал оценки для климатического предиктора, обладающий большей шириной (0,06-0,24), интерпретируется как проявление повышенной вариабельности метеоусловий.

Высокая объясненная дисперсия модели (78 %) рассматривается как подтверждение гипотезы о том, что деградация бетонных конструкций в мелиоративных системах Нижнего Поволжья детерминируется не только химическим составом вод, но и совокупностью климатических факторов, при этом аридность, посредством усиления испарения, обусловливает повышение концентрации солей в поровом пространстве и, как следствие, ускорение процессов разрушения.

Диагностика остатков фиксирует адекватность модельной спецификации для прогностических целей, при этом нормальность распределения (Шапиро-Уилк, p = 0,67) и отсутствие автокорреляции (Дарбин-Уотсон, d = 2,1) рассматриваются как основание для применения модели в расчете остаточного ресурса конструкций с заданной вероятностью.

В целях эмпирического верифицирования выдвинутой гипотезы о дифференциации механизмов деградации, детерминирующей различие характера повреждений и эксплуатационной эволюции открытых и закрытых конструкций, осуществлен сравнительный анализ архивных материалов, относящихся к бетонным трубам диаметром Ø ≤ 2,0 м и облицовкам каналов (таблица 3).

Таблица 3 – Сравнительная характеристика деградации бетона в каналах и водопропускных трубах
Table 3 – Comparative characteristics of concrete degradation in channels and pipe culverts

Параметр / Parameter	Каналы (n = 6) / Channels (n = 6)	Водопропускные (n = 12) / Bridges (n = 12)	Отношение трубы /каналы / Pipe/channels ratio
Средняя скорость коррозии цементного камня, мм/год / Average corrosion rate of cement stone, mm/year	0,31 ± 0,14	0,36 ± 0,12	1,16
Средняя скорость коррозии арматуры, мм/год / Average corrosion rate of reinforcement, mm/year	0,08 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,88
Глубина карбонизации, мм / Depth of carbonization, mm	8,5 ± 3,2	12,3 ± 4,1	1,45
Концентрация O_2 в воде, мг/л / Concentration of O_2 in water, mg/l	8-10	3-5	0,50
Влажность, % / Humidity, %	60-95 (переменная) / 60-95 (variable)	95-100 (постоянная) / 95-100 (constant)	-

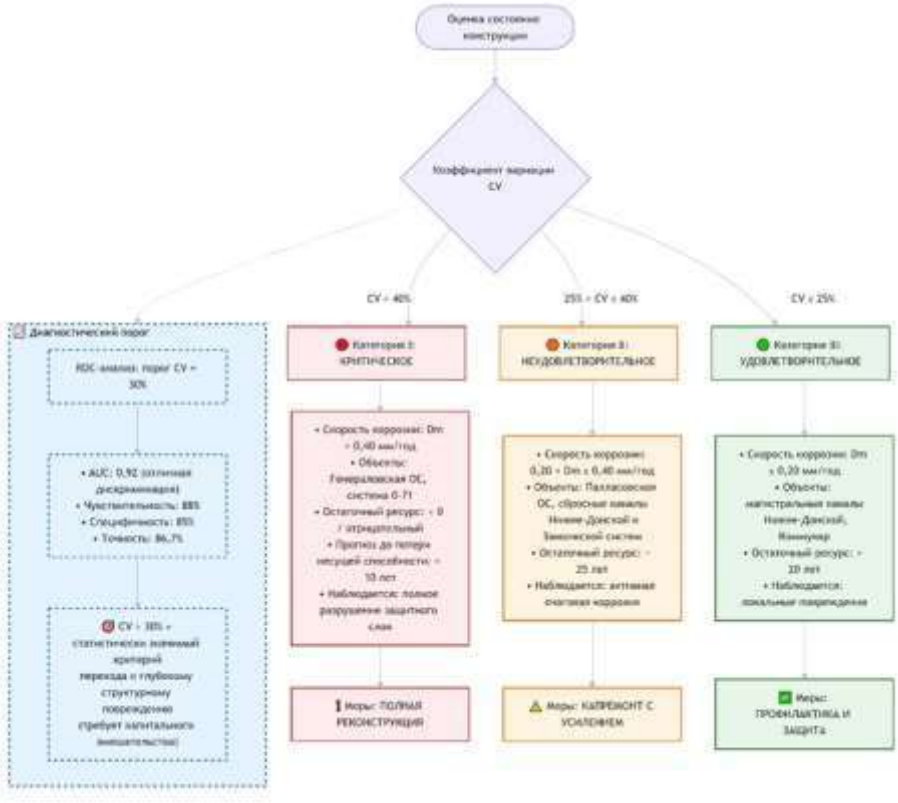


Рисунок 8 – Блок-схема оценки состояния ОС
Figure 8 – Block diagram for assessing the condition of irrigation systems

Эмпирические значения коэффициентов ($k_{цем}$=1,16, $k_{арм}$=0,88) статистически не отличаются от расчетных (t-критерий, $p < 0,05$), при этом наблюдаемая статистическая эквивалентность интерпретируется как обоснование применимости указанных коэффициентов для прогнозирования процессов деградации водопропускных труб, а фиксируемая повышенная скорость коррозионного поражения цементного камня, выраженная отношением 1,16, обусловливает необходимость учета поправочного коэффициента при расчёте ресурса. Указанная классификация выступает как методологическая основа для приоритизации ремонтных мероприятий в условиях ограниченности бюджетных средств, при этом обеспечивается упрощение процедур определения приоритетов (рисунок 8).

Коэффициент вариации прочности бетона свыше 30 % представляется как статистически значимый критерий перехода коррозионного процесса в фазу глубокого структурного повреждения, детерминирующую необходимость осуществления капитального вмешательства, при этом соответствующее эмпирическое подтверждение представлено на рисунке 9. Предложение указанного критерия разработано автором и отсутствует в действующих нормативных документах (ГОСТ, СП), что в наиболее общем виде интерпретируется как свидетельство новизны проведенного исследования.

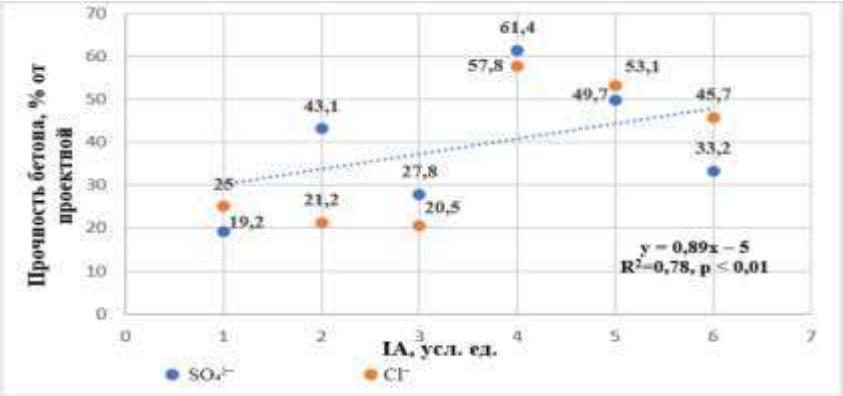


Рисунок 9 – Диаграмма корреляции между интегральным показателем агрессивности IA
Figure 9 – Correlation diagram between the integral aggressiveness index (IA)

Проведено построение множественной регрессионной модели, предназначенной для прогнозирования скорости коррозии, параметры которой оценены методом наименьших квадратов (МНК), при этом прогнозируемая величина скорости коррозии, выраженная в миллиметрах в год, представлена как линейная комбинация предикторных переменных с коэффициентной структурой, содержащей значения 0,021 на интегральный показатель агрессивности, 0,15 на обратный индекс аридности и -0,18. Доля объясненной дисперсии, составляющая порядка четырех пятых суммарной изменчивости, интерпретируется как следствие существенного вклада гидрохимических и климатических предикторов, что подтверждает выдвигаемую гипотезу о доминирующей роли процесса минерализации воды в механизмах деградации бетонной матрицы, и одновременно фиксируется значимость химических и климатических факторов аридности, проявляющаяся в усилении процессов испарения и в кристаллизационной концентрации солей в порах, что, в пределах данной смысловой связи, обеспечивает дополнительную нагрузку на структуру бетонной матрицы.

В качестве ключевого аспекта подлежит осмыслению применимость предложенной модели к водопропускным сооружениям, при этом в условиях трубной конфигурации, в отличие от открытых каналов, констатируется отсутствие инсоляционного воздействия и ветрового испарения с бетонных поверхностей, тогда как высокая влажность воздуха в замкнутом объеме рассматривается как детерминант, способный модифицировать ход коррозионных процессов. Концентрация агрессивных ионов в воде труб может быть выше из-за отсутствия разбавления атмосферными осадками. Однако скорость коррозии арматуры может быть ниже из-за ограниченного доступа кислорода.

Для экстраполяции модели на водопропускные сооружения предлагается использовать поправочный коэффициент 1,15 для химической коррозии цементного камня и 0,85 для коррозии арматуры, что требует дальнейшей верификации на специализированных объектах. В рамках данного исследования мы принимаем возможность использования модели для предварительной оценки с указанием данных ограничений.

Используя метод кластерного анализа k-средних по двум ключевым параметрам, расчетной скорости коррозии и коэффициенту вариации прочности, все обследованные конструкции были разделены на три статистически обособленные группы, соответствующие категориям состояния.

Категория первая представляет критическое состояние со скоростью коррозии больше 0,40 мм в год и коэффициентом вариации больше 40 %. К первой категории, трактуемой как аварийное состояние, отнесены Генераловская и «0-71» оросительные системы, которые характеризуются превышением глубины карбонизации над толщиной защитного слоя, при этом зафиксировано исчерпание остаточного ресурса защитного слоя (тост ≤ 0), что свидетельствует о достижении предельного состояния по оголению арматуры.

Оценка срока достижения предельного состояния по несущей способности показала значение менее 10 лет, что детерминирует необходимость осуществления полной реконструкции в соответствии со СП 35.13330.2011. Для второй категории, рассматриваемой как состояние с ограниченной работоспособностью, характерна скорость коррозии в интервале 0,20-0,40 мм/год и коэффициент вариации прочности в интервале 25-78 %, при этом к данной группе отнесены Палласовская ОС и сбросные каналы Нижне-Донской и Заволжской систем. Остаточный ресурс оценивается в пределах от 10 до 25 лет, а наблюдаемое активное развитие локальной язвенной коррозии рассматривается как основание для проведения капитального ремонта с применением ингибирующих покрытий и восстановлением толщины защитного слоя до нормативного значения 40-50 мм.

Третья категория, обозначаемая как «удовлетворительное состояние», представляет собой совокупность объектов, для которых в наиболее общем виде зафиксированы параметрические показатели коррозионного состояния, а именно скорость коррозии менее 0,20 мм/год и значение коэффициента вариации, в указанном аспекте не превышающее 25 %. Дефекты носят единичный характер и не влияют на глобальную несущую способность. В группу вошли магистральные каналы Нижне-Донской и Заволжской систем, а также система «Коммунар», где остаточный ресурс превышает 25 лет. При наличии локальных дефектов облицовки достаточно регламентных мероприятий: герметизации трещин полимерными составами и плановой гидрофобизации поверхности. Предлагаемые технологические решения научно обоснованы выявленными механизмами разрушения и категорией состояния. Для категории первое критическое состояние целью восстановления является полное восстановление несущей способности и создание химически стойкого барьера. Принцип действия заключается в замене деградировавшего материала на высокоплотный, с низкой проницаемостью и стойкостью к ионам магния и сульфатов. Предлагаемые технологии включают полную замену на монолитный бетон класса В35 на сульфатостойком цементе ЦЕМ I SR5 по ГОСТ 22266. Состав бетона предполагает водоцементное отношение не более 0,40 добавку микрокремнезема 7-10 % от массы цемента для заполнения капилляров, поликарбоксилатный суперпластификатор для удобоукладываемости и полипропиленовую фибру 0,9 кг на кубический метр для предотвращения усадочных трещин.

Альтернативным или дополнительным решением является устройство противофильтрационного экрана из геосинтетических бентонитовых матов для защиты земляного русла с целью предотвращения подъёма солей.

Ожидаемый эффект заключается в создании барьера с предельно низкой проницаемостью. Нейтрализуется магнезиальная и сульфатная агрессия.

Срок службы составляет 40-50 лет. Экономическое обоснование показывает стоимость работ около 25000 рублей за м^2 поверхности, что высоко, но оправдано полным восстановлением ресурса.

Для категории второе неудовлетворительное состояние целью является усиление конструкций, остановка развития коррозии арматуры и бетона.

Принцип действия заключается в восстановлении защитного слоя, его уплотнении и ингибировании электрохимических процессов. Предлагаемые технологии включают торкретирование поврежденных участков ремонтным составом на основе цемента ЦЕМ I SR5 с полимерной фиброй. Ингибирование коррозии арматуры проводится путем очистки арматуры и обработки проникающими составами на основе аминоспиртов, мигрирующих в бетон и пассивирующих сталь. Герметизация трещин осуществляется инъекцией низковязких эпоксидных или полиуретановых смол. На особо ответственных участках с массовой коррозией арматуры применяется электродренажная защита. Ожидаемый эффект заключается в восстановлении монолитности и защитных функций бетона. Скорость коррозии замед-

ляется в 3-5 раз. Срок службы составляет 20-30 лет. Стоимость работ оценивается в 12000 рублей за м^2, что является оптимальным балансом между затратами и продлением срока службы.

Для категории третье удовлетворительное состояние целью является профилактика, увеличение срока службы и снижение проницаемости. Принцип действия заключается в гидрофобизации поверхности, упрочнении поверхностного слоя и предотвращении капиллярного подсоса. Предлагаемые технологии включают глубокую гидрофобизацию составами на основе алкилсиликонатов калия или олигоорганосилоксанов, наносимыми до состояния насыщения. Применяется упрочняющая пропитка флюатами для повышения поверхностной прочности и износостойкости. Своевременная заделка усадочных и температурных трещин осуществляется эластичными герметиками. Ожидаемый эффект заключается в снижении водопоглощения на 90-95 % и повышении морозостойкости на 50-100 циклов. Замедляются процессы внешней коррозии. Срок службы составляет 15-20 лет до следующего обслуживания (таблица 4) Стоимость работ составляет около 2500 рублей за м^2, что делает данный метод наиболее экономически эффективным для профилактических мероприятий.

Предлагаемые технологические решения научно обоснованы выявленными механизмами разрушения и категорией состояния.

Таблица 4 – Дифференцированные технологические решения для восстановления защитного покрытия канала
Table 4 – Differentiated technological solutions for restoring the protective coating of the channel

Категория состояния / Condition category	Цель восстановления / Restoration purpose	Принцип действия / Principle of action	Предлагаемые технологии и материалы / Suggested technologies and materials	Ожидаемый эффект / Срок службы после ремонта / Expected effect / Service life after repair
1	2	3	4	5
I. Критическое / I. Critical	Полное восстановление несущей способности и создание химически стойкого барьера / Full restoration of load-bearing capacity and creation of a chemically resistant barrier	Замена деградировавшего материала на высокоплотный, с низкой проницаемостью и стойкостью к Mg^{2+} и SO_4^{2-}. / Replacement of degraded material with a high-density material with low permeability and resistance to Mg^{2+} and SO_4^{2-}.	1. Полная замена на монолитный бетон класса B35 (B30) на сульфатостойком цементе ЦЕМ I SR5 (по ГОСТ 22266). Состав: В/Ц ≤ 0,40; добавка микрокремнезема (7-10 % от массы цемента) для заполнения капилляров; поликарбоксилатный суперпластификатор для удобоукладываемости; полипропиленовая фибра (0,9 кг/м³) для усадочных трещин. 2. Альтернатива/дополнение: Устройство противофильтрационного экрана из геосинтетических бентонитовых матов (GCL) при ремонте земляного русла для отсечения миграции солей / 1. Complete replacement with monolithic concrete of class B35 (B30) using sulfate-resistant cement CEM I SR5 (according to GOST 22266). Composition: W/C ≤ 0.40; addition of microsilica (7-10 % of the cement weight) to fill capillaries; polycarboxylate superplasticizer for workability; polypropylene fiber (0.9 kg/m³) for shrinkage cracks. 2. Alternative/ supplement: Installation of a geosynthetic bentonite mat (GCL) anti-filtration screen during the repair of an earthen channel to prevent salt migration	Создание барьера с предельно низкой проницаемостью (коэф. фильтр. < 10^{-12} м/с). Нейтрализация магнезиальной и сульфатной агрессии. Срок службы: 40-50 лет / Creation of a barrier with extremely low permeability (filter coefficient <10^{-12} m/s). Neutralization of magnesian and sulfate aggression. Service life: 40-50 years

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5
II. Неудовлетворительное / II. Unsatisfactory	Усиление конструкций, остановка развития коррозии арматуры и бетона / Reinforcement of structures, stopping the development of corrosion of reinforcement and concrete	Восстановление защитного слоя, его уплотнение и ингибирование электрохимических процессов / Restoration of the protective layer, its sealing and inhibition of electrochemical processes	1. Торкретирование поврежденных участков ремонтным составом на основе цемента ЦЕМ I SR5 с полимерной фиброй. 2. Ингибирование коррозии арматуры: Очистка арматуры и обработка проникающими составами на основе аминоспиртов (типа MCI), мигрирующих в бетон и пассивирующих сталь. 3. Герметизация трещин инъекцией низковязких эпоксидных или полиуретановых смол. 4. Электродренажная защита (катодная защита) на особо ответственных участках с массовой коррозией арматуры / 1. Spraying of damaged areas with a repair compound based on cement CEM I SR5 with polymer fiber. 2. Inhibition of corrosion of reinforcement: Cleaning of reinforcement and treatment with penetrating compounds based on amino alcohols (such as MCI), which migrate into concrete and passivate steel. 3. Sealing of cracks by injection of low-viscosity epoxy or polyurethane resins. 4. Electrodrainage protection (cathodic protection) in particularly critical areas with massive corrosion of reinforcement	Восстановление монолитности и защитных функций бетона. Замедление скорости коррозии в 3-5 раз. Срок службы: 20-30 лет / Restoration of the concrete's monolithicity and protective functions. Reducing the corrosion rate by 3-5 times. Service life: 20-30 years
III. Удовлетворительное III. Satisfactory	Профилактика, увеличение срока службы, снижение проницаемости / Prevention, increase in service life, reduction in permeability	Гидрофобизация поверхности, упрочнение поверхностного слоя, предотвращение капиллярного подсоса / Hydrophobization of the surface, strengthening of the surface layer, prevention of capillary suction	1. Глубокая гидрофобизация составами на основе алкилсиликонатов калия или олигоорганосилоксанов, наносимыми до состояния насыщения. 2. Упрочняющая пропитка флюатами (силикатными уплотнителями) для повышения поверхностной прочности и износостойкости. 3. Своевременная заделка усадочных и температурных трещин эластичными герметиками / 1. Deep hydrophobization with compositions based on potassium alkylsiliconates or oligoorganosiloxanes, applied to a saturated state. 2. Strengthening impregnation with fluates (silicate sealants) to increase surface strength and wear resistance. 3. Timely sealing of shrinkage and temperature cracks with elastic sealants	Снижение водопоглощения на 90-95%, повышение морозостойкости на 50-100 циклов. Замедление процессов внешней коррозии. Срок службы: 15-20 лет до следующего обслуживания / Reducing water absorption by 90-95%, increasing frost resistance by 50-100 cycles. Slowing down external corrosion processes. Service life: 15-20 years before next maintenance

Для сравнительного анализа экономических показателей различных стратегий восстановления проведен расчет совокупной стоимости владения на горизонте 50 лет с учетом дисконтирования денежных потоков.

Для водопропускных сооружений стоимость работ может быть выше на 20-30 % из-за сложности доступа и необходимости организации водоотвода, однако принципы выбора технологии остаются теми же (таблица 5).

Таблица 5 – Сравнительный анализ стратегий восстановления для 1000 м² поверхности на горизонте 50 лет
Table 5 – Comparative analysis of rehabilitation strategies for 1000 m² of surface area over a 50-year time horizon

Показатель / Indicator	Стратегия I (Полная замена) / Strategy I (Full replacement)	Стратегия II (Капремонт) / Strategy II (Overhaul)	Стратегия III (Профилактика) / Strategy III (Prevention)
Начальные затраты, млн руб. / Initial costs, million rubles	25,0	12,0	2,5
NPV за 50 лет, млн руб. / NPV over 50 years, million rubles	27,43	22,03	5,65
Срок службы, лет/ Service life, years	50	25+25	15+15+15+5
Количество вмешательств / Number of interventions	1	2	4
Экономия относительно Стратегии I / Savings relative to Strategy I	-	19,7%	79,4%
Рекомендуемая категория объектов / Recommended object category	I (при полной потере несущей способности) / I (in case of complete loss of load-bearing capacity)	I-II	III

Заключение. Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие научные положения и практические выводы.

Установлена и количественно подтверждена ведущая роль комплексной химической коррозии (сульфатно-хлоридной с существенным участием ионов магния) в деградации бетонных конструкций мелиоративных систем на территории Нижнего Поволжья. Установлена зависимость интенсификации коррозионных процессов от степени аридности климатического режима, при которой максимальные величины интенсивности коррозионного воздействия регистрируются в зонах гидрологического застоя и при повышенной испарительной нагрузке.

Представлен разработанный интегральный показатель агрессивности (IA), учитывающий синергетическое воздействие ионов-деструкторов (SO_4^{2-}, Cl^-, Mg^{2+}); выявлена статистически значимая взаимосвязь между индексом агрессивности (IA) и параметрами деградации бетонного материала, выраженная через коэффициент вариации прочности ($r = 0,78$, $p < 0,01$) и скорость ультразвуковой волны ($r = -0,79$, $p < 0,05$).

Разработана эмпирическая регрессионная модель прогнозирования скорости коррозионного воздействия, представленная в виде параметризованной скорректированной характеристики $V_{корр}$ = сооружения с учётом поправочных коэффициентов замкнутой среды: $k_{цем}$= 1,15 для цементного камня и $k_{арм}$= 0,85 для арматуры. Гипотеза подтверждена ретроспективным анализом состояния 12 железобетонных труб. Проведен ретроспективный анализ состояния исследуемой совокупности, подтвердивший сформулированную гипотезу. Выполненная оценка по методу анализа жизненного цикла (LCC) продемонстрировала, что проведение профилактического обслуживания объектов категории III обеспечивает снижение совокупных затрат порядка ~79 % по сравнению с полной заменой в расчетном горизонте 50 лет. Для объектов категорий I-II выявлена экономическая целесообразность реализации капитального ремонта с последующим усилением конструктивного сечения по отношению к полной замене, выражающаяся в ориентировочном снижении затрат на ~20 % при принятой ставке дисконтирования 8 %).

Conclusion. The conducted research allows us to formulate the following scientific provisions and practical conclusions.

The leading role of complex chemical corrosion (sulfate-chloride corrosion with significant participation of magnesium ions) in the degradation of concrete structures of reclamation systems in the Lower Volga region has been established and quantified. The dependence of the intensification of corrosion processes on the degree of aridity of the climatic regime has been established, with the maximum values of the intensity of corrosion occurring in areas of hydrological stagnation and increased evaporation.

The paper presents a developed integral aggressiveness index (IA) that takes into account the synergistic effect of destructive ions (SO_4^{2-}, Cl^-, Mg^{2+}); a statistically significant relationship was found between the aggressiveness index (IA) and the degradation parameters of the concrete material, expressed through the coefficient of variation in strength ($r=0.78$, $p<0.01$) and the speed of the ultrasonic wave ($r=-0.79$, $p<0.05$).

The empirical regression model for predicting the rate of corrosion has been developed, which is presented in the form of a parameterized adjusted characteristic V corr = of the structure, taking into account the correction factors for the closed environment: k cement = 1.15 for cement stone and k arm = 0.85 for reinforcement. The hypothesis has been confirmed by a retrospective analysis of the condition of 12 reinforced concrete pipes. A retrospective analysis of the condition of the studied sample has been conducted, which has confirmed the formulated hypothesis. The performed assessment by the method of life cycle analysis (LCC) demonstrated that the implementation of preventive maintenance of category III facilities provides a reduction in total costs of the order of ~79 % in comparison with full replacement in the design horizon of 50 years. For category I-II facilities, the economic feasibility of the implementation of capital repairs with subsequent reinforcement of the structural section in relation to full replacement was revealed, expressed in an estimated cost reduction of ~20 % at the adopted discount rate of 8 %).

Библиографический список

1. Рамазанова Т. В., Омариев Ш. Ш., Караева Л. Ю. Значение и проблемы мелиорации сельскохозяйственных земель Республики Дагестан. Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. Саратов: Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2019. С. 104-106.

2. Лытов М. Н. Компоненты экологической модели повторно осваиваемых мелиорированных земель юга России. Известия НВ АУК. 2022. № 2 (66). https://cyberleninka.ru/article/n/komponenty-ekologicheskoy-modeli-povtorno-osvaivaemyh-meliorirovannyh-zemel-yuga-rossii

3. Сейидова М., Нурмаммедова Г., Халлыев О. Как эффективно бороться с засолением почвы. Вестник науки. 2023. Т. 3. № 6 (63). С. 1000-1004.

4. Баев О. А., Косиченко Ю. М. Инновационные способы ремонта бетонных водопроводящих сооружений композиционными материалами. Экология и водное хозяйство. 2021. № 1. https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-sposoby-remonta-betonnyh-vodoprovodyaschih-sooruzheniykompozitsionnymi-materialami

5. Пахомов А. А., Кулагина О. А., Колобонова Н. А. Современный мелиоративный комплекс – стратегический фактор развития сельских территорий. Эколого-мелиоротивные аспекты рационального природопользования: материалы Международной научно-практической конференции. Волгоград 2017. Т. 2. С. 421-427.

6. Suprun V., Kovalenko I., Ustinova V. The GPR survey method in combination with destructive testing methods for the hydraulic structures technical condition studying. Magazine of Civil Engineering. 2024. V. 17. No 6 (130). Art. 13002.

7. Нечипорук С. А., Фалеева Е. В. Методы обработки данных георадарного обследования грунтовых объектов. Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2024. Т. 2. С. 445-450.

8. Georgiev A. V. Environmental safety of hydraulic structures construction and operation. 2025. Pp. 123-127.

9. Коваленко И. А. Методы предотвращения фильтрации воды из каналов посредством устройства монолитных оснований из гидробетона и композитных материалов. Перспективы развития научных изысканий: теория, методология, практика: сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции. Анапа, 2025. С. 36-42.

10. Макаренко А. А., Коковихин С. В., Бойко Е. С. Моделирование орошаемых севооборотов с использованием эколого-мелиоративных и хозяйственно-экономических параметров агропредприятий. Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2023. № 36 (199). С. 6-20.

11. Ищенко А. В., Баев О. А. Анализ существующих методик испытаний физико-механических свойств бентонитовых матов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 2 (10). С. 175-185.

12. Дука А. В., Ченцов Н. А. Использование программы Statistica в СМК. Использование современных управленческих технологий в целях повышения эффективности деятельности предприятий: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, студентов. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2024. С. 33-36.

13. Popov S. V. Russian radio-echo sounding and GPR investigations in Antarctica. Georadar 2021: Collection of Abstracts of Scientific and Practical Conferences in a Mixed Online and Offline Format. Moscow: Publishing House "Academy of Natural Sciences", 2022. Pp. 7-13.

14. Harrison D. et al. Ground-penetrating radar (GPR) investigations of a large-scale buried ice-marginal landsystem, Skeiðarársandur, SE Iceland. Boreas. 2022. Vol. 51. No 4. Pp. 824-846.

15. Tandon R. S., Gupta V., Venkateshwarlu B. Geological, geotechnical, and GPR investigations along the Mansa Devi hill-bypass (MDHB) Road, Uttarakhand, India. Landslides. 2020.

References

1. Ramazanova T. V., Omariev Sh. Sh., Karaeva L. Yu. The Importance and Problems of Land Reclamation in the Republic of Dagestan. Problems and Prospects of Agricultural and Rural Development: Collection of Articles from the VIII International Scientific and Practical Conference. Saratov: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, 2019. Pp. 104-106.
2. Lyutov M. N. Components of the Environmental Model of Reclaimed Lands in Southern Russia. Proceedings of the NV AUC. 2022. No 2 (66). https://cyberleninka.ru/article/n/komponenty-ekologicheskoy-modeli-povtorno-osvaivaemyh-melioririovannyh-zemel-yuga-rossii
3. Seyidova M., Nurmammadova G., Halliyev O. How to effectively combat soil salinity. Bulletin of Science. 2023. V. 3. No 6 (63). Pp. 1000-1004.
4. Baev O. A., Kosichenko Yu. M. Innovative methods of repairing concrete water supply structures with composite materials. Ecology and Water Management. 2021. No 1. https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-sposoby-remonta-betonnyh-vodoprovodyaschih-sooruzheniy-kompozitsionnymi-materialami
5. Pakhomov A. A., Kulagina O. A., Kolobonova N. A. Modern Reclamation Complex – a Strategic Factor in the Development of Rural Areas. Ecological and Reclamation Aspects of Sustainable Natural Resource Management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Volgograd, 2017. V. 2. Pp. 421-427.
6. Suprun V., Kovalenko I., Ustinova V. The GPR survey method in combination with destructive testing methods for the hydraulic structures technical condition studying. Magazine of Civil Engineering. 2024. V. 17. No 6 (130). Art. 13002.
7. Nechiporuk S. A., Faleeva E. V. Methods of processing data from a ground object survey by a ground object. Scientific and technical and economic cooperation of the APR countries in the 21st century. 2024. V. 2. Pp. 445-450.
8. Georgiev A. V. Environmental safety of hydraulic structures construction and operation. 2025. Pp. 123-127.
9. Kovalenko I. A. Methods of preventing water filtration from channels by means of the device of monolithic bases from hydro-concrete and composite materials. Prospects of development of scientific research: theory, methodology, practice: collection of scientific papers on the materials of the IX International scientific and practical conference. Anapa, 2025. Pp. 36-42.
10. Makarenko A. A., Kokovikhin S. V., Boyko E. S. Modeling of Irrigated Crop Rotations Using Ecological, Land Reclamation, and Economic Parameters of Agricultural Enterprises. Izvestiya of Agricultural Science of Tavrida. 2023. No 36 (199). Pp. 6-20.
11. Ishchenko A. V., Baev O. A. Analysis of Existing Methods for Testing the Physical and Mechanical Properties of Bentonite Mats. Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 2013. No. 2 (10). Pp. 175-185.
12. Duka A. V., Chentsov N. A. Using the Statistica Program in the Quality Management System. The use of modern management technologies to improve the efficiency of enterprises: Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference of young scientists, postgraduate students, and students. Donetsk: Donetsk National Technical University, 2024. Pp. 33-36.
13. Popov S. V. Russian radio-echo sounding and GPR investigations in Antarctica. Georadar 2021: Collection of Abstracts of Scientific and Practical Conferences in a Mixed Online and Offline Format. Moscow: Publishing House "Academy of Natural Sciences", 2022. Pp. 7-13.
14. Harrison D. et al. Ground-penetrating radar (GPR) investigations of a large-scale buried ice-marginal landsystem, Skeiðarársandur, SE Iceland. Boreas. 2022. Vol. 51. No 4. Pp. 824-846.
15. Tandon R. S., Gupta V., Venkateshwarlu B. Geological, geotechnical, and GPR investigations along the Mansa Devi hill-bypass (MDHB) Road, Uttarakhand, India. Landslides. 2020.

Информация об авторах

Пахомов Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26), e-mail: pahomoff.1954@yandex.ru

Коваленко Иван Александрович, инженер-исследователь, ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), SPIN-код: 1449-0995, e-mail: Kovalenko-i@vfanc.ru

Authors' Information

Pakhomov Aleksandr Alekseevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetsky Ave., 26), e-mail: pahomoff.1954@yandex.ru

Kovalenko Ivan Aleksandrovich, Research Engineer, Federal Scientific Center for Agroecology, Complex Meliorations and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetsky Ave., 97), SPIN code: 1449-0995; e-mail: Kovalenko-i@vfanc.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-70

THE PEA PROTEIN ISOLATES USAGE IN THE PASTRY GOODS PRODUCTION

[1]Gorlov I. F., [2]Shirokova N. V.

[1]Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production
Volgograd, Russian Federation
[2]Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation

Corresponding author E-mail: nadya.shirockowa@yandex.ru

Received 13.04.2026 Submitted 06.05.2026

Abstract

Introduction. Muffins are widely popular among various consumer groups, but their traditional composition is poorly balanced: it contains excessive trans fats, insufficient protein, and an excessive energy value. Therefore, developing a new recipe that would improve the product's composition and improve its balance is a pressing issue. **Materials and methods.** The study focused on flour confectionery products made us-

ing pea protein isolate. Crude protein content was determined using the Kjeldahl method in accordance with GOST 13496.4-2019. The functional and technological properties were determined according to the methodology of the Gorbatov Federal Scientific Center for Preservation of Pure Food. GOST 15052-2014 "Peak Cakes. General Specifications" was used as the standard describing the parameters required for muffins. **Results and conclusion.** Muffin samples prepared with 10 % of the standard dough replaced with hydrated MIGB did not differ significantly in organoleptic properties from the control sample. The addition of 10 % hydrated MIGB to the recipe reduced the consumption of expensive ingredients such as eggs, butter, and sugar by 10 % without degrading the finished product's characteristics, while increasing the protein content by 1,0 % and reducing the total caloric value of the finished product by 6.6 % compared to the control recipe.

Keywords: *muffin recipes, vegetable protein, pea protein isolate, muffins, muffin ingredients, muffin production.*

Citation. Gorlov I. F., Shirokova N. V. The pea protein isolates usage in the pastry goods production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 650-658 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-70.
Authors' contribution. The team of authors of this study mentioned in the article was directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All the authors of this article have reviewed and agreed on the final version presented.
Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 664.683

ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОЛЯТА БЕЛКА ГОРОХА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

[1]**Горлов И. Ф.,** *доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН*
[2]**Широкова Н. В.,** *доктор биологических наук, доцент*

[1]*Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции г. Волгоград, Российская Федерация*
[2]*ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*

Актуальность. Кексы пользуются широкой популярностью у разных групп потребителей, однако их традиционный состав характеризуется низкой сбалансированностью: в нём отмечается избыточное содержание трансжиров, недостаточная доля белка и завышенная энергетическая ценность. В связи с этим разработка новой рецептуры, позволяющей скорректировать состав продукта в сторону большей сбалансированности, представляет актуальную задачу на сегодняшний день. **Материалы и методы.** Объектом исследования являются мучные кондитерские изделия, выработанные с использованием изолята горохового белка. Определение массовой доли сырого протеина осуществляли методом Кьельдаля согласно ГОСТ 13496.4-2019. Определение функционально-технологических свойств осуществляли согласно методике ФГБНУ «ФНЦПС им. Горбатова». В качестве стандарта, описывающего показатели, предъявляемые к кексам, использовался ГОСТ 15052-2014 «Кексы. Общие технические условия». **Результаты и выводы.** Образцы кексов, приготовленные с заменой 10 % стандартного теста на гидратированный МИГБ, не имели существенных отличий по органолептическим показателям от контрольного образца. Введение в рецептуру 10 % гидратированного МИГБ позволило сократить расход дорогостоящих ингредиентов, таких как яйца, сливочное масло и сахар на 10 % без ухудшения характеристик готового продукта и при этом повысить содержание белка в продукте на 1,0 %, а также уменьшить общую калорийность готового продукта на 6,6 % по сравнению с контрольной рецептурой.

Ключевые слова: *рецептуры кексов, растительный белок, изолят белка гороха, кексы, ингредиенты кексов, производство кексов.*

Цитирование. Горлов И. Ф., Широкова Н. В. Применение изолята белка гороха для производства кондитерских изделий. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 650-658. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-70.
Авторский вклад. Коллектив авторов настоящего исследования, указанного в статье принимал прямое участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и согласовали представленный окончательный вариант.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Достижение здорового и активного долголетия населения становится возможным благодаря внедрению наукоемких технологий, включая подходы персонализированного, функционального питания. В рамках этой цели государство реализует масштабный комплекс мер – политических, экономических, правовых и медицинских [1; 2].

Российский рынок кондитерских изделий ежегодно растет, при этом существенную долю занимают мучные кондитерские изделия. Мучные кондитерские продукты занимают важное место в питании россиян, особенно среди молодёжи и детей. Согласно исследова-

ниям, 96 % населения регулярно включают сладости в свой рацион, а для 72 % они стали практически незаменимыми. Такая популярность обусловлена не только гастрономическими предпочтениями, но и психологическими факторами: сладкое ассоциируется с комфортом, помогает справляться со стрессом и эмоциональными нагрузками [3].

В настоящее время кондитерская продукция требует серьёзной переработки своей рецептуры. Ключевая задача – улучшение качественных характеристик изделий путём увеличения белковой составляющей с использованием полноценных белковых компонентов, оптимизации калорийности за счёт снижения энергетической плотности, а также модернизации углеводного профиля через уменьшение содержания сахаров [4; 5].

Для решения данных задач целесообразно предусмотреть внедрение альтернативных источников белка и применение современных сахарозаменителей. С целью повышения пищевой и биологической ценности кондитерских изделий использовался изолят горохового белка [6].

Изолят горохового белка в отличие от соевого, молочного и пшеничного белка, не входит в список компонентов способных вызвать аллергические реакции или противопоказанных при некоторых заболеваниях. Это делает его безопасным выбором для широкого круга потребителей.

Несмотря на высокую биологическую ценность и функциональные характеристики соевых белков, генетическая модификация семян сои привела к негативному отношению потребителей к продукции, содержащей продукты переработки сои [7; 8].

В связи с этим практический интерес представляет использование других бобовых культур, не подверженных генетической модификации. Изолят находит широкое применение в пищевой промышленности благодаря аминокислотному профилю, ввиду наличия большого количества аминокислот и других питательных свойств [9; 10].

Стоит отметить, что в отличие от сои, уровень изофлавонов, которые негативно сказываются на уровне тестостерона и поведенческих реакциях, в горохе довольно низок, также горох относится к продуктам, не вызывающим аллергические реакции [11; 12].

Горох обладает высокой пищевой ценностью и отличной усвояемостью (98 %), что позволяет использовать его в различных рецептурах кондитерских изделий.

Целью данной работы стала разработка рецептуры и технологии производства мучных кондитерских изделий, обогащенных растительным белком.

Материалы и методы. Объектом исследования являются мучные кондитерские изделия, выработанные с использованием изолята горохового белка. Определение массовой доли сырого протеина осуществляли методом Кьельдаля согласно ГОСТ 13496.4-2019. Определение функционально-технологических свойств осуществляли согласно методике ФГБНУ «ФНЦПС им. Горбатова».

В качестве стандарта, описывающего показатели, предъявляемые к кексам, использовался ГОСТ 15052-2014 «Кексы. Общие технические условия». Обработку данных, полученных в исследованиях, проводили с помощью программы Excel офисного пакета Microsoft Office.

Результаты и обсуждение. В лабораторных условиях изготавливали кексы с добавлением модифицированного изолята горохового белка согласно рецептуре, представленной в таблице 1.

Внесение модифицированного изолята горохового белка осуществляли в трех рецептурах: 0, 10, 20 и 30 % в виде соответствующей замены части стандартного теста для выпечки на гидратированный модифицированный изолят горохового белка.

Для приготовления кексов использовалась адаптированная рецептура кекса «Столичный» из «Сборника мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания» А. В. Павлова, из которой были исключены изюм и сахарная пудра.

Для приготовления теста размягченное при комнатной температуре сливочное масло взбивали миксером в течение 3-4 минут, после чего добавляли сахар и продолжали взбивать смесь еще в течение 3-4 минут, постепенно добавляя яйца.

К взбитой массе добавляли соль, разрыхлитель теста, ванильный сахар и муку. Замешивали тесто до однородности в течение 3-5 минут.

Таблица 1 – Рецептура кексов
Table 1 – Cupcake recipe

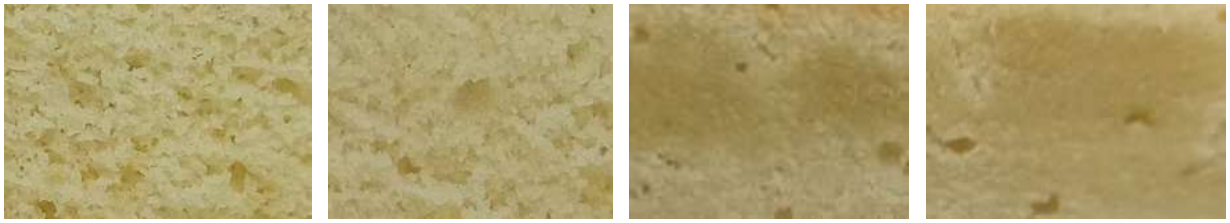
Наименование сырья, ингредиента / Name of raw material, ingredient	Количество ингредиентов на 1 кг теста, г / Amount of ingredients per 1 kg of dough, g			
	Образец № 1 (контроль) / Sample 1 (control)	Образец № 2 (10 % МИГБ) / Sample 2 (10 % MIGB)	Образец № 3 (20 % МИГБ) / Sample 3 (20 % MIGB)	Образец № 4 (30 % МИГБ) / Sample 4 (30 % MIGB)
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта / Premium grade wheat flour	322,0	289,8	257,6	225,4
Сахар-песок / Granulated sugar	236,0	212,4	188,8	165,2
Масло сливочное, 82,5 % / Butter, 82.5 %	235,0	211,5	188	164,5
Яйцо 1С / Egg 1C	188,0	169,2	150,4	131,6
Соль поваренная / Table salt	5,0	4,5	4	3,5
Разрыхлитель теста / Baking powder	7,0	6,3	5,6	4,9
Ванильный сахар / Vanilla sugar	7,0	6,3	5,6	4,9
Модифицированный изолят горохового белка / Modified pea protein isolate	0,0	14,3	28,6	42,9
Вода питьевая / Drinking water	0,0	85,7	171,4	257,1
Суммарное количество ингредиентов / Total amount of ingredients	1000,0	1000	1000	1000

Отдельно подготавливали МИГБ, для чего смешивали МИГБ с питьевой водой в соотношении 1:6 по массе и гомогенизировали смесь для получения однородной консистенции.

При приготовлении теста для образцов № 2, 3, 4 смешивали определенное соотношение теста контрольной рецептуры с гидратированным МИГБ.

Приготовленное тесто перекладывали в кондитерский мешок и отсаживали по 50 г на весах в бумажную форму для кексов. Заполненную бумажную форму размещали в силиконовой форме для выпечки.

Заполненную силиконовую форму помещали на решетку в предварительно нагретый до 160 °С духовой шкаф. Режим выпечки: 160 °С, 40 мин, без конвекции.



Образец № 1 (контроль) / Sample 1 (control) | Образец № 2 (10 % МИГБ) / Sample 2 (10 % MIGB) | Образец № 3 (20 % МИГБ) / Sample 3 (20 % MIGB) | Образец № 4 (30 % МИГБ) / Sample 4 (30 % MIGB)

Рисунок 1 – Образцы кексов
Figure 1 – Cupcake samples

Органолептическая оценка образцов кексов при участии 11 дегустаторов включала проведение сравнительного анализа вкуса и запаха, поверхности, структуры, формы и вида на изломе.

Согласно практике применения белковых препаратов в хлебобулочной отрасли, их внесение не должно оказывать существенного влияния на органолептические свойства полученной продукции, в частности на формирование посторонних вкуса и запаха, существенное изменение цвета и консистенции готовой продукции. В таблице 2 приведены результаты органолептической оценки образцов кексов.

Таблица 2 – Органолептические характеристики кексов по результатам дегустации
Table 2 – Organoleptic characteristics of cupcakes based on tasting results

Образец / Sample	Показатель, средний балл / Indicator, average score					Суммарный балл / Total score
	Вкус и запах / Taste and smell	Поверхность / Surface	Вид на изломе / View at the break	Структура / Structure	Форма / Form	
1	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	25,00
2	4,73	4,82	4,91	4,73	4,73	23,91
3	3,55	3,82	2,91	2,82	3,64	16,73
4	2,64	3,18	2,00	2,09	3,00	12,91

Профилограмма органолептической оценки контрольного и экспериментальных образцов представлена на рисунке 2.

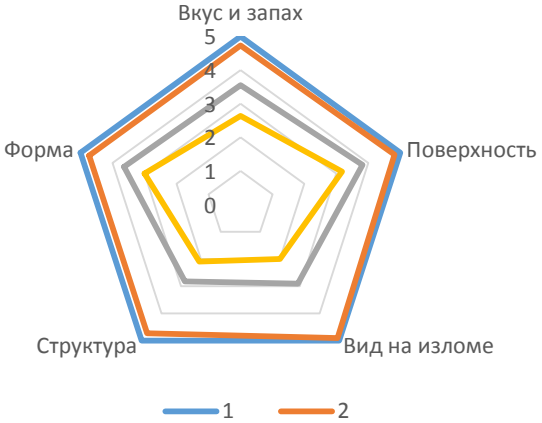


Рисунок 2 – Профилограмма органолептической оценки контрольного (1) и экспериментальных образцов (2, 3, 4) с добавлением МИГБ
Figure 2 - Profilogram of the organoleptic evaluation of the control (1) and experimental samples (2, 3, 4) with the addition of MIGB

В образцах № 3 и № 4 дегустаторы отметили посторонний запах и привкус «соды». По результатам проведенной органолептической оценки, установлено, что кексы, приготовленные с использованием 10 % МИГБ (рецептура 2) не имели существенных отличий по органолептическим показателям от контрольного образца.

Введение в рецептуру 20 % и 30 % гидратированного МИГБ оказывает влияние на органолептические характеристики готового продукта: мякиш приобретает более плотную структуру и неоднородность, появляется закал.

Образцы кексов, хранившиеся в течение 1 недели, не показали значимых отличий по внешнему виду и виду на изломе от исходных, свежеиспеченных кексов.

В образцах № 3 и № 4, содержащих большое количество влаги, появились признаки порчи – посторонний неприятный кислый запах. Для выработанных образцов был произведен расчет энергетической ценности и соотношение БЖУ в пересчете на 100 г готового продукта. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Энергетическая ценность и соотношение БЖУ в образцах кексов на 100 г
Table 3 – Energy value and ratio of proteins, fats, and carbohydrates in muffin samples per 100 g

Показатель / Indicator	Образцы кексов / Cupcake samples			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Белки, г / Proteins, g	7,0	8	8	9
Жиры, г / Fats, g	25,0	23	20	18
Углеводы, г / Carbohydrates, g	56,0	51	45	40
Энергетическая ценность, кКал / Energy value, kcal	473,0	442	390	356

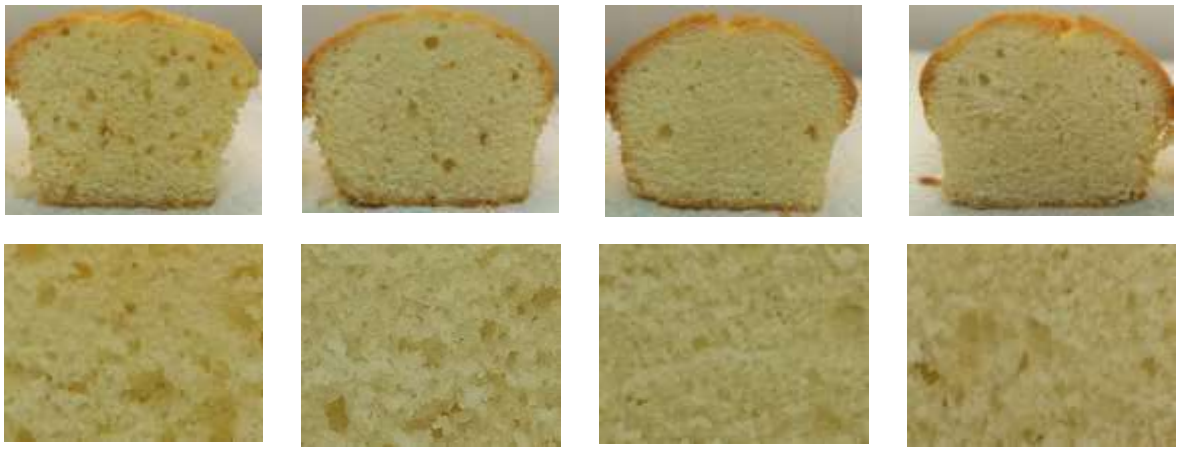
Согласно данным таблицы 3 приготовленные образцы кексов не могут быть отнесены к категории высокобелковой продукции ввиду низкого содержания белка, однако замена 10 % стандартного теста на гидратированный МИГБ позволила повысить содержание белка в продукте на 14 % и уменьшить общую калорийность готового продукта на 6,6 % по сравнению с контрольной рецептурой.

Для проведения сравнительной оценки по рецептуре 2 были произведены экспериментальные выработки кексов с заменой 10 % стандартного теста на модифицированный изолят подсолнечного белка и изолят соевого белка.

Таблица 4 – Рецептура кексов
Table 4 – Cupcake recipe

Наименование сырья, ингредиента / Name of raw material, ingredient	Количество ингредиентов на 1 кг теста, г / Amount of ingredients per 1 kg of dough, g			
	Образец № 1 (контроль) / Sample 1 (control)	Образец № 2 (10% МИПБ) / Sample 2 (10% MIPB)	Образец № 3 (10 % ИСБ) / Sample 3 (10 % ISB)	Образец № 4 (10% МИГБ) / Sample 4 (10 % MIGB)
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта / Premium grade wheat flour	322,0	289,8	289,8	289,8
Сахар-песок / Granulated sugar	236,0	212,4	212,4	212,4
Масло сливочное, 82,5 % / Butter, 82.5 %	235,0	211,5	211,5	211,5
Яйцо 1С / Egg 1C	188,0	169,2	169,2	169,2
Соль поваренная / Table salt	5,0	4,5	4,5	4,5
Разрыхлитель теста / Baking powder	7,0	6,3	6,3	6,3
Ванильный сахар / Vanilla sugar	7,0	6,3	6,3	6,3
Изолят растительного белка / Vegetable protein isolate	0,0	16,7	14,3	14,3
Вода питьевая / Drinking water	0,0	83,3	85,7	85,7
Суммарное количество ингредиентов / Total amount of ingredients	1000,0	1000	1000	1000

Внешний вид выпеченных кексов представлен на рисунке 3. После выпечки образцы были помещены в полиэтиленовый пакет и заложены на хранение в течение одной недели при комнатной температуре. По истечении недели повторно проанализировали внешний вид образцов и вид на изломе.



Образец № 1 (контроль) / Sample 1 (control) | Образец № 2 / Sample 2 | Образец № 3 / Sample 3 | Образец № 4 / Sample 4

Рисунок 3 – Образцы кексов. Внешний вид и вид на изломе
Figure 3 – Samples of cupcakes. External appearance and cross-section view

Органолептическая оценка образцов кексов при участии 10 дегустаторов включала проведение сравнительного анализа вкуса и запаха, поверхности, структуры, формы и вида на изломе. В таблице 5 приведены результаты органолептической образцов кексов.

Таблица 5 – Органолептические характеристики кексов по результатам дегустации
Table 5 – Organoleptic characteristics of muffins based on tasting results

Образец / Sample	Показатель, средний балл / Indicator, average score					Суммарный балл / Total score
	Вкус и запах / Taste and smell	Поверхность / Surface	Вид на изломе / View at the fracture	Структура / Structure	Форма / Form	
1	5,0	4,9	4,8	4,8	4,9	24,3
2	4,6	4,8	4,7	4,9	4,9	23,9
3	4,7	4,9	4,9	4,9	5,0	24,4
4	4,7	5,0	4,8	4,9	5,0	24,4

Профилограмма органолептической оценки контрольного и экспериментальных образцов представлена на рисунке 4.

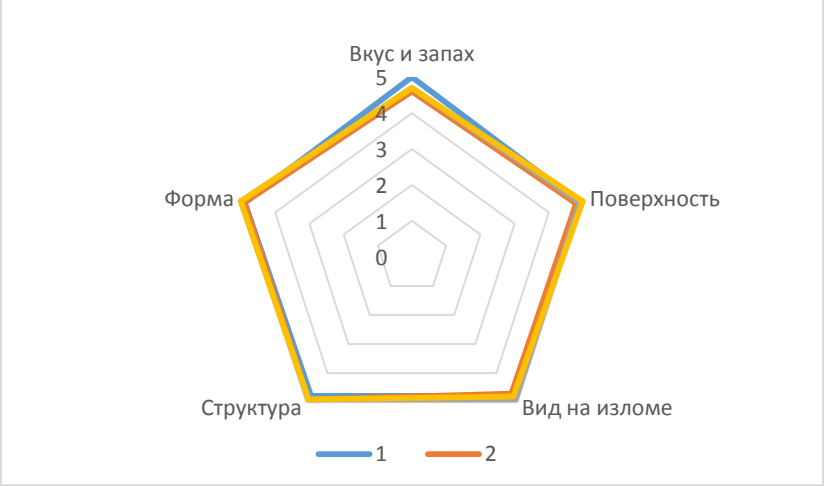


Рисунок 4 – Профилограмма органолептической оценки контрольного (1) и экспериментальных образцов (2, 3, 4) с добавлением МИПБ, МИГБ, ИСБ
Figure 4 – Profilogram of the organoleptic evaluation of the control (1) and experimental samples (2, 3, 4) with the addition of MIPB, MIGB, ISB

Для выработанных образцов был произведен расчет энергетической ценности и соотношение БЖУ в пересчете на 100 г готового продукта. Данные представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Энергетическая ценность и соотношение БЖУ в образцах кексов
Table 6 – Energy value and ratio of proteins, fats, and carbohydrates in muffin samples

Образец, № / Sample	Содержание на 100 г продукта, % / Content per 100 g of product, %			Энергетическая ценность, ккал / Energy value, kcal
	Белки / Squirrels	Жиры / Fats	Углеводы / Carbohydrates	
1	7	25	56	473
2	8	23	51	442
3	8	23	51	442
4	8	23	51	442

По результатам проведенной органолептической оценки, установлено, что кексы, приготовленные с использованием 10 % МИПБ, ИСБ, МИГБ не имели существенных отличий по органолептическим показателям от контрольного образца. Отличий по вкусовым характеристикам межу разными видами растительного белка дегустаторами не выявлено.

Заключение. Образцы кексов, приготовленные с заменой 10 % стандартного теста на гидратированный МИГБ, не имели существенных отличий по органолептическим показателям от контрольного образца. Введение в рецептуру 10 % гидратированного МИГБ позволило сократить расход дорогостоящих ингредиентов, таких как яйца, сливочное масло и сахар на 10 % без ухудшения характеристик готового продукта и при этом повысить содержание белка в продукте на 1,0 %, а также уменьшить общую калорийность готового продукта на 6,6 % по сравнению с контрольной рецептурой.

Conclusion. Muffin samples prepared with 10 % of the standard dough replaced with hydrated MIGB showed no significant differences in organoleptic properties compared to the control sample. Introducing 10 % hydrated MIGB into the recipe allowed for a 10 % reduction in the consumption of expensive ingredients such as eggs, butter, and sugar without compromising the finished product's characteristics, while increasing the protein content by 1,0 % and reducing the total caloric content of the finished product by 6.6% compared to the control recipe.

Библиографический список

1. Мартинчик А. Н. Нутрициология. Основы питания человека. Москва: ООО Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2023. 504 с.
2. Ирматова Ж. К., Росляков Ю. Ф., Зокиров С. Х. у. Разработка специализированных мучных изделий. Известия Ошского технологического университета. 2023. № 3. С. 50-54.
3. Лодыгин А. Д., Давыденко Н. И. Разработка технологии мучного кондитерского изделия с использованием плодов тыквы. Пищевая индустрия. 2019. № 2 (40). С. 30-32.
4. Широкова Н. В., Куликов А. С., Шкуров А. В. Использование продуктов переработки гороха при производстве мясных паштетов. Мясная индустрия. 2025. № 12. С. 38-40.
5. Chen H.-B., Su X.-Yi. Efficacy and safety of lactulose for the treatment of irritable bowel syndrome. Medicine. 2019. V. 98. Art. 17295.
6. Ahsan M. et al. Use of Oxidized Potato Starch as Simultaneous Fat and Casein Replacer in Analogue Mozzarella Cheese-II: Impact on Functional and Sensory Properties of Cheese. Food Hydrocolloids. 2023. V. 142. Art. 108810.
7. El Barnossi A. et al. Tangerine, banana and pomegranate peels valorisation for sustainable environment: A review. Biotechnol. Reports. 2021. № (29). Art. e00574. Pp. 1-21.
8. Karim A., Aïder M. Contribution to the process development for lactulose production through complete valorization of whey permeate by using electro-activation technology. ACS Omega. 2020. V. 5. Pp. 28831-28834.
9. Cabuk B., Stone A. K., Korber D. R., Tanaka T., Nickerson M. T. Effect of Lactobacillus plantarum fermentation on the surface and functional properties of pea protein-enriched flour. Food Technology & Biotechnology. 2018. No 56 (3). Pp. 411-420.
10. Chao D., Aluko R. E. Modification of the structural, emulsifying, and foaming properties of an isolated pea protein by thermal pretreatment. CyTA - Journal of Food. 2018. No 16 (1). Pp. 357-366.
11. Ge J., Sun C. X., Corke H., Gul K., Gan R. Y., Fang Y. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (Pisum sativum L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. No 19. Pp. 1835-1876.
12. Kumar M., Tomar M., Potkule J., Punia S., Dhakane-Lad J., Singh S., Dhumal S., Pradhan P. C., Bhushan B., Anitha T., et al. Functional characterization of plant-based protein to determine its quality for food applications. Food Hydrocoll. 2022. No 123. Art. 106986.

References

1. Martinchik A. N. Nutriciology. Fundamentals of Human Nutrition. Moscow: Limited Liability Company Publishing Group "GEOTAR-Media", 2023. 504 p.
2. Irmatova Zh. K., Roslyakov Yu. F., Zokirov S. Kh. u. Development of specialized flour products. Bulletin of the Osh Technological University. 2023. No 3. Pp. 50-54.
3. Lodygin A. D., Davydenko N. I. Development of technology for flour confectionery using pumpkin fruits. Food industry. 2019. No. 2 (40). Pp. 30-32.
4. Shirokova N. V., Kulikov A. S., Shkurov A. V. The use of pea processing products in the production of meat pates. Meat industry. 2025. No 12. Pp. 38-40.
5. Chen H.-B., Su X.-Yi. Efficacy and safety of lactulose for the treatment of irritable bowel syndrome. Medicine. 2019. V. 98. Art. 17295.
6. Ahsan M. et al. Use of Oxidized Potato Starch as Simultaneous Fat and Casein Replacer in Analogue Mozzarella Cheese-II: Impact on Functional and Sensory Properties of Cheese. Food Hydrocolloids. 2023. V. 142. Art. 108810.
7. El Barnossi A. et al. Tangerine, banana and pomegranate peels valorisation for sustainable environment: A review. Biotechnol. Reports. 2021. № (29). Art. e00574. Pp. 1-21.
8. Karim A., Aïder M. Contribution to the process development for lactulose production through complete valorization of whey permeate by using electro-activation technology. ACS Omega. 2020. V. 5. Pp. 28831-28834.
9. Cabuk B., Stone A. K., Korber D. R., Tanaka T., Nickerson M. T. Effect of Lactobacillus plantarum fermentation on the surface and functional properties of pea protein-enriched flour. Food Technology & Biotechnology. 2018. No 56 (3). Pp. 411-420.
10. Chao D., Aluko R. E. Modification of the structural, emulsifying, and foaming properties of an isolated pea protein by thermal pretreatment. CyTA - Journal of Food. 2018. No 16 (1). Pp. 357-366.
11. Ge J., Sun C. X., Corke H., Gul K., Gan R. Y., Fang Y. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (Pisum sativum L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. No 19. Pp. 1835-1876.
12. Kumar M., Tomar M., Potkule J., Punia S., Dhakane-Lad J., Singh S., Dhumal S., Pradhan P. C., Bhushan B., Anitha T., et al. Functional characterization of plant-based protein to determine its quality for food applications. Food Hydrocoll. 2022. No 123. Art. 106986.

Информация об авторах

Горлов Иван Федорович, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400066, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Широкова Надежда Васильевна, доктор биологических наук, профессор кафедры, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (Российская Федерация, 344000, Ростов-на-Дону пл. Гагарина, 1), SPIN-code: 1329-1458, Author ID: 57207846895, ResearcherID: M-9402-2016, e-mail: nadya.shirockowa@yandex.ru

Authors' Information

Gorlov Ivan Fedorovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher, Volga Scientific Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400066, Volgograd, Rokossovskiy Str., 6), ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Shirokova Nadezhda Vasilievna, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department, Associate Professor, Don State Technical University (Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1), SPIN code: 1329-1458, Author ID: 57207846895, Researcher ID: M-9402-2016, e-mail: nadya.shirockowa@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-71

THE CRANBERRY POMACE VACUUM-OSCILLATING DRYING MATHEMATICAL MODELING

Safina A. V., Ziatdinova D. F., Makhmutov A. R., Safin R. G.

Kazan National Research Technological University
Kazan, Russian Federation

Corresponding author E-mail: alb_saf@mail.ru

Received 16.02.2026 Submitted 27.03.2026

The work was carried out at the expense of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to educational organizations of higher education, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and teaching staff to defend doctoral theses and perform research (Agreement No. 10/2025-PD-KNRTU dated December 22, 2025).

Summary

The article presents a mathematical model of vacuum-oscillating drying of cranberry pomace based on classical heat and mass transfer equations. By modeling the process, dynamic drying curves of the squeeze were obtained, reflecting the change in local moisture content over time and over the particle cross-section. The developed model is an effective tool for optimizing the drying process and designing industrial equipment in order to obtain a multivitamin complex from cranberry pomace.

Abstract

Introduction. The practical significance of mathematical modeling is due to the need for a scientifically sound choice of energy-efficient and high-intensity drying modes for fruit and berry raw materials that ensure the preservation of valuable biologically active components. **Object.** The object of the study is cranberry pomace, which remains after juicing and contains valuable biologically active substances. The aim of the study is to develop a mathematical model that adequately describes the kinetics of vacuum-oscillating drying of cranberry pomace, and to establish quantitative dependencies between controlled parameters through physical and mathematical modeling to optimize the process. **Materials and methods.** Based on A.V. Lykov's system of differential equations of unsteady heat and mass transfer, a mathematical model of vacuum-oscillating drying of cranberry pomace has been developed. To assess its compliance with real physical phenomena, an experimental installation has been created that makes it possible to set and control the amount of moisture removal at the pressure relief stage in the temperature range of 20-60 °C. **Results and conclusion.** By modeling the process, dynamic drying curves of the squeeze were obtained, reflecting the change in local moisture content over time and over the particle cross-section. The analysis of the kinetics of the process allowed us to determine the duration of three cycles of drying the pomace with particles 2 mm thick. At the maximum setpoint of the residual pressure in the drying chamber before discharge, equal to 20 kPa, the drying time is, respectively, 20 minutes, 25 minutes and 30 minutes. It is noted that the low residual pressure in the chamber makes it difficult to organize convective heat supply, so the moisture content of the squeeze varies at a low rate. Therefore, in order to intensify heat and mass transfer during the hardware design of this process, it is recommended to provide a combination of convective and conductive heat supply. At a given temperature differe nce of 40 °C for the pomace with an initial moisture content of 33 %, the moisture removal value was 2 ± 0.1 %, while the discrepancy between the calculated and experimental values does not exceed the statistical error. The results of the work are of practical importance for the design of equipment and the industrial implementation of a method for the complex processing of cranberries in the food and pharmaceutical industries.

Keywords: *drying processes mathematical modeling, plant raw materials drying, cranberry pressing, multivitamin complexes, vacuum drying.*

Citation. Safina A. V., Ziatdinova D. F., Makhmutov A. R., Safin R. G. The cranberry pomace vacuum-oscillating drying mathematical modeling. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2026. 3(87). 658-669 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-71.

Authors' contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 664.8.047: 634.739.2+519.7

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАКУУМ-ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ СУШКИ ВЫЖИМКИ КЛЮКВЫ

Сафина А. В., *кандидат технических наук*
Зиатдинова Д. Ф., *доктор технических наук, профессор*
Махмутов А. Р., *аспирант*
Сафин Р. Г., *доктор технических наук, профессор*

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025).

Актуальность. Практическая значимость математического моделирования обусловлена необходимостью научно-обоснованного выбора энергоэффективных и высокоинтенсивных режимов сушки плодово-ягодного сырья, обеспечивающих сохранение ценных биологически активных компонентов. **Объект.** Объектом исследований является выжимка клюквы, остающаяся после отжима сока и содержащая ценные биологически активные вещества. Целью исследования является разработка математической модели, адекватно описывающей кинетику вакуум-осциллирующей сушки выжимки клюквы, и установление посредством физического и математического моделирования количественных зависимостей между управляемыми параметрами для оптимизации процесса. **Материалы и методы.** На основе системы дифференциальных уравнений нестационарного тепломассопереноса А. В. Лыкова разработана математическая модель вакуум-осциллирующей сушки выжимки клюквы. Для оценки ее соответствия реальным физическим явлениям создана экспериментальная установка, позволяющая в диапазоне температур 20-60 °С задавать и контролировать величину влагосъема на этапе сброса давления. **Результаты и выводы.** Моделированием процесса получены динамические кривые сушки выжимки, отражающие изменение локального влагосодержания по времени и по сечению частицы. Анализ кинетики процесса позволил определить продолжительность трех циклов сушки выжимки с частицами толщиной 2 мм. При максимальном заданном значении остаточного давления в сушильной камере перед сбросом, равным 20 кПа, время сушки составляет, соответственно, 20 минут, 25 минут и 30 минут. Отмечено, что низкое остаточное давление в камере обуславливает трудность организации конвективного подвода тепловой энергии, поэтому влагосодержание выжимки меняется с малой скоростью. Поэтому с целью интенсификации тепломассообмена при аппаратурном оформлении данного процесса рекомендовано предусмотреть комбинацию конвективного и кондуктивного подвода тепла. При заданном перепаде температур 40 °С для выжимки с начальной влажностью 33 % величина влагосъема составила 2 ± 0,1 %, при этом расхождение между расчетным и экспериментальным не превышает статистической погрешности. Результаты работы имеют практическое значение для проектирования оборудования и промышленной реализации способа комплексной переработки ягод клюквы в пищевой и фармацевтической отраслях.

Ключевые слова: *математическое моделирование процессов сушки, сушка растительного сырья, выжимка клюквы, поливитаминные комплексы, вакуумная сушка.*

Цитирование. Сафина А. В., Зиатдинова Д. Ф., Махмутов А. Р., Сафин Р. Г. Математическое моделирование вакуум-осциллирующей сушки выжимки клюквы. *Известия НВ АУК*. 2026. 3(87). 658-669. DOI: 10.32786/2071-9485-2026-03-71.
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. Высокая ценность биологических веществ, содержащихся в растительном сырье, обуславливает актуальность разработки современных способов его переработки с целью получения функциональных пищевых ингредиентов, добавок и фармацевтических соединений [1, 2]. При этом актуальной задачей является не только извлечение широкого спектра целевых компонентов из растительного сырья, но и максимальное сохранение биологической ценности всего комплекса термолабильных веществ, что требует разработки эффективных способов сушки растительных материалов [3].

Наиболее перспективным методом консервирования плодово-ягодного сырья, широко применяемым в промышленности, является вакуумная сушка [4-6]. Оптимизация режимов вакуумной сушки позволяет достичь максимального сохранения органолептических и физико-химических характеристик растительного сырья с минимальными энергозатратами [7-9]. Повышение эффективности сушки является многокритериальной задачей, решение которой зависит от качественных исследований в области кинетики сушки и требует научно обоснованного выбора технологических параметров обезвоживания применительно к конкретному виду сырья [10].

Клюква является ценным продуктом, в котором содержится большое количество витаминов, минералов, органических кислот и других важных компонентов, которые оказывают антимикробное, противовоспалительное и общеукрепляющее действие на организм [11]. В выжимке клюквы, образующейся после отжима сока, содержание ценных биологических активных веществ (флавоноидов и салицилатов) даже превосходит их содержание в экстрактах, приготовленных из свежих ягод [12, 13]. В связи с этим, во многих случаях, особенно при применении клюквы для функционального питания в оздоровительных целях, целесообразно выделять не индивидуальные чистые биологически активные вещества, а производить сухие поливитаминные композиции с максимальным сохранением ценных компонентов [14-16]. При этом упрощается технология, повышается биодоступность и синергетический эффект действующих компонентов.

На кафедре переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета разработана вакуум-осциллирующая установка для сушки выжимок клюквы, принцип действия которой заключается в циклическом (осциллирующем) изменении давления в сушильной камере для интенсификации процесса и сохранения всех ценных компонентов сырья. Способ объединяет преимущества вакуумной сушки, обеспечивая низкотемпературный режим, с импульсным воздействием для улучшения структуры продукта и системой рекуперации летучих веществ, обеспечивая высокое качество как сухого порошка, так и обогащенного клюквенного сока.

При сушке выжимки в такой установке все биологически активные компоненты, удаляемые из выжимки вместе с паром, возвращаются в клюквенный сок. Прекращение повышения давления в сушильной камере свидетельствует о завершении процесса сушки выжимки. После завершения процесса сушки выжимка измельчается до порошкообразного состояния, просеивается и упаковывается в вакуумные пакеты, а разбавленный клюквенный сок используется в качестве самостоятельного продукта.

Для оптимизации представленного способа вакуум-осциллирующей сушки выжимки клюквы необходимо провести математическое моделирование, что и определило цель настоящей работы. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи: разработать математическую модель вакуум-осциллирующей сушки, провести экспериментальные исследования и математическое моделирование в заданном интервале температур для определения количественных зависимостей между управляемыми параметрами сушки (давление, температура, влажность, продолжительность циклов нагрева и сброса давления).

Материалы и методы. Процесс конвективной сушки клюквенных выжимок в виде пластинок можно описать системой дифференциальных уравнений А. В. Лыкова [17]:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a_T \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

где U – влагосодержание, кг/кг; T – температура, °C; a_m, a_T – коэффициенты массопроводности и температуропроводности, соответственно, м^2/с; x – текущее значение координаты в частице, м; τ – текущее время, с; δ – термоградиентный коэффициент.

На рисунке 1 представлена схема краевых условий при вакуум-осциллирующей сушке.

Начальные условия дифференциальных уравнений (1) и (2) на I цикле определяются начальной влажностью перед сушкой и температурой материала, зависящей, в соответствии с уравнением Антуана, от остаточного давления в сушильной камере после вакуумирования:

$$U(x;0) = U_H; \qquad T(x;0) = \frac{B}{A - \ln P_1} \tag{3}$$

где A, B – константы уравнения Антуана.

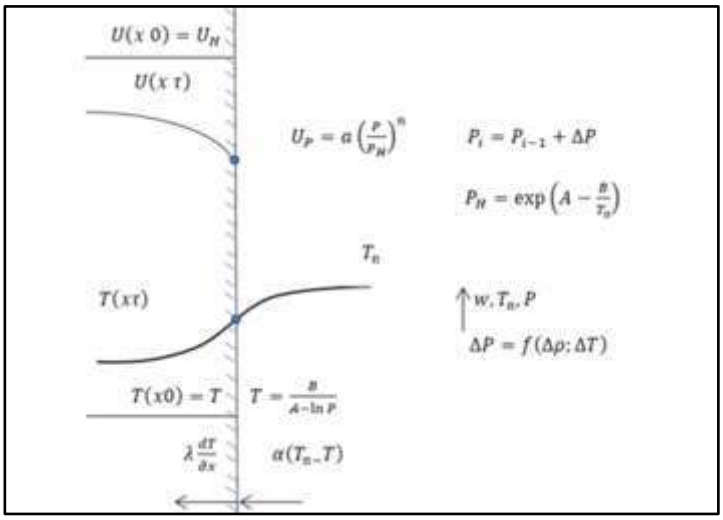


Рисунок 1 – Схема краевых условий при вакуум-осциллирующей сушке
Figure 1 – Diagram of the vacuum-oscillatory drying boundary conditions

Остаточное давление после вакуумирования P_1 определяется характеристикой вакуумного насоса. Для водокольцевого вакуумного насоса марки ВВН-1 оно составляет 2,4 кПа. На последующих циклах начальные условия по влажности определяются конечной влажностью на предыдущих циклах, а начальные условия по температуре определяются температурой нагретого аккумулятора тепла:

$$U_i(x;0) = U_{i-1}(x;\tau_{ki-1}); \qquad T_i(x;0) = T_\Pi \tag{4}$$

Температура теплоносителя $T_п$ задается из условий термолабильности высушиваемого объекта [18]. Граничное условие для дифференциального уравнения (1) определяется равновесным влагосодержанием на поверхности частицы в соответствии с уравнением Фрейндлиха и температурой теплоносителя $T_п$ на входе в слой выжимки:

$$U(0;\tau) = a\left(\frac{P}{P_{нас}}\right)^n; \qquad T(0;\tau) = T_\Pi, \tag{5}$$

где P – парциальное давление паров в сушильной камере, кПа; $P_{нас}$ – давление насыщения, кПа; a, n – константы уравнения Фрейндлиха; T_Π – температура теплоносителя, °C.

Парциальное давление пара P определяется температурой поверхности частиц:

$$P = \left(\frac{\rho_\Pi R T(0;\tau)}{M}\right), \tag{6}$$

а давление насыщенного пара рассчитывается по температуре теплоносителя на входе в слой выжимки

$$P_н = \frac{\rho_п R T_п}{M}, \tag{7}$$

где M – молекулярный вес, кг; $\rho_п$ – плотность пара в слое, кг/м^3; R – универсальная газовая постоянная.

Конвективный теплообмен между теплоносителем и выжимкой описывается системой дифференциальных уравнений теплоотдачи:

$$\frac{dT|_{x=0}}{d\tau} = \frac{\alpha f}{c_м \rho_м (1-\varepsilon)}(T_п - T|_{x=0}), \tag{8}$$

$$\frac{dT_п}{d\tau} = \frac{\alpha f}{c_п \rho_п \varepsilon}(T|_{x=0} - T_п), \tag{9}$$

где α – коэффициент теплоотдачи; f – удельная поверхность частиц, м^2/кг; $c_м$, $c_п$ – теплоемкость материала и пара, соответственно, кДж/кг·°C; ε – порозность слоя.

Коэффициент теплоотдачи рассчитывается по критериальным уравнениям [11]. Выбор критериев уравнения осуществляется по эквивалентному критерию Рейнольдса, который рассчитывается по выражению:

$$\mathrm{Re}_{э} = \frac{4\rho_{п} w}{\mu_{d} f} \tag{10}$$

где w – скорость движения теплоносителя через слой выжимки, м/с; μ_d – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Скорость движения теплоносителя определяется производительностью газодувки, сечением рабочей камеры и порозностью слоя.

Совместное решение дифференциальных уравнений (8) и (9) определяет граничные условия (5) для дифференциальных уравнений (1) и (2).

Плотность пара в уравнении (9) определяется из уравнения материального баланса. Масса жидкости, испарившейся из выжимки за единицу времени, зависит от интенсивности сушки J и поверхности испарения F:

$$\mathrm{dm}_{ж} = \mathrm{JFd}\tau \tag{11}$$

и определяет изменение плотности пара в сушильном аппарате в соответствии с соотношением:

$$dm_{ж} = \mathrm{V}_{П}\mathrm{d}\rho_{П}, \tag{12}$$

где $\mathrm{V}_{П}$ – объем парового пространства в сушильной камере.

Совместно решив (11) и (12) и разделив на массу высушенной выжимки m_C имеем:

$$\mathrm{dU} = \mathrm{Jfd}\tau = \frac{\mathrm{V}_{П}}{\mathrm{m}_{C}}\mathrm{d}\rho_{п}$$

или

$$\frac{\mathrm{d}\rho_{П}}{\mathrm{d}\tau} = \frac{\mathrm{Jfm}_{C}}{\mathrm{V}_{П}} \tag{13}$$

Объем парового пространства в сушильной камере $\mathrm{V}_{п}$ состоит из объема внутреннего пространства коммуникационной линии V_{k} (трубопровода и воздуходувки) и парового пространства в материале:

$$\mathrm{V}_{п} = \mathrm{V}_{k} + \varepsilon\mathrm{V}_{M}, \tag{14}$$

где V_{M} – объем материала, м^3.

Выразив массу выжимки через плотность

$$\mathrm{m}_{C} = \rho_{M}\mathrm{V}_{M}, \tag{15}$$

и, подставив (14) и (15) в выражение (13), получим зависимость изменения плотности пара в сушильной камере от времени сушки:

$$\mathrm{d}\rho_{п} = \frac{\mathrm{Jf}\rho_{м}}{\frac{\mathrm{V}_{к}}{\mathrm{V}_{M}} + \varepsilon}\mathrm{d}\tau \tag{16}$$

Время прохождения теплоносителя через слой выжимки определяется объемной производительностью газодувки Q и объемом пор в выжимке по соотношению:

$$\tau = \frac{\varepsilon\mathrm{V}_{м}}{\mathrm{Q}} \tag{17}$$

Интенсивность сушки слоя J определяется уравнением:

$$\mathrm{J} = \frac{1}{\mathrm{f}}\int_{0}^{\tau}\left.\frac{\partial \mathrm{U}}{\partial \tau}\right|_{x=0}\mathrm{d}\tau \tag{18}$$

Продифференцировав выражение (6) получаем соотношение для расчета изменения парциального давления среды в зависимости от изменений плотности (16) и температуры (8) теплоносителя при прохождении через слой высушенной выжимки.

$$dP = \frac{RT_П}{M} d\rho_П + \frac{\rho R}{M} dT_П \quad (19)$$

Совместное решение дифференциальных уравнений (1), (2), (8), (9) при краевых условиях (4) и (5) с учетом выражений (16), (18), (19) определяет динамические зависимости процесса вакуум-осциллирующей сушки выжимки клюквы.

Для проверки представленной выше математической модели создана экспериментальная установка (рисунок 2).

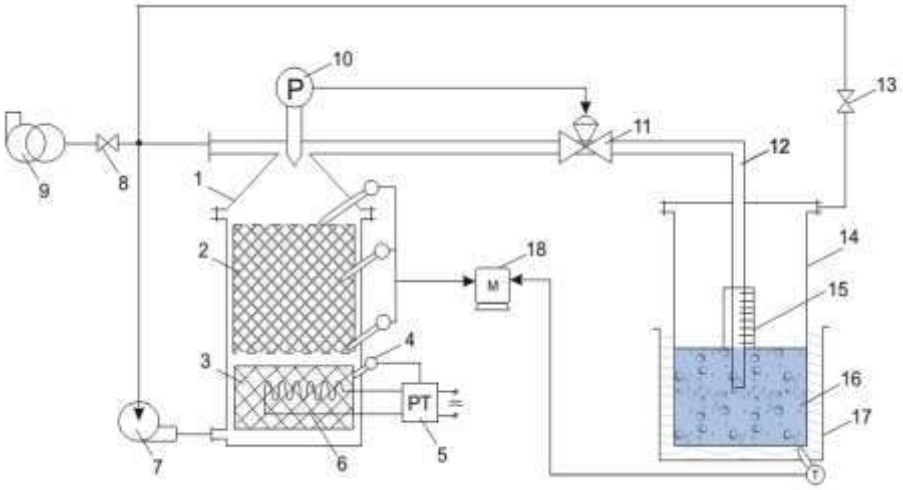


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки:
1 – камера сушки; 2 – контейнер с высушиваемой выжимкой;
3 – калорифер с наполнением из медных элементов; 4, 18 – хром-копелевый датчик температуры;
5 – регулятор температуры; 6 – ТЭН; 7 – газодувка;
8, 11, 13 – вакуумный клапан; 9 – вакуумный насос; 10 – вакуумметр;
12 – барботажная труба; 14 - холодильная камера; 15 – мерная трубка;
16 – хладагент; 17 – ванна с рассолом; 18 – монитор, подключенный к датчикам температуры
Figure 1 – Pilot installation scheme:
1 – drying chamber; 2 – container with the material to be dried (berry press cake);
3 – air heater filled with copper elements; 4, 18 – hromel-copel temperature sensor;
5 – temperature controller; 6 – tubular heating element; 7 – blower; 8, 11, 13 – vacuum valve;
9 – vacuum pump; 10 – vacuum gauge; 12 – bubble tube (bubbler); 14 – cold chamber;
15 – measuring tube; 16 – coolant; 17 – brine bath; 18 – monitor connected to temperature sensors

Работа установки осуществляется в следующей последовательности:

1. Включается калорифер 3 и камера прогревается до заданной температуры, измеряемой хромель-капелевым датчиком 4 и управляемой регулятором температуры 5.

2. Уровень хладагента 16, состоящего из смеси воды и мелких кристаллов льда, доводится до нулевой отметки мензурки.

3. Выжимка помещается в контейнер 2, крышка и дно которого перфорированы, и далее он устанавливается над калорифером 3.

4. При открытых клапанах 8, 11,13 включается вакуумный насос 9 и из системы удаляется воздух. Выжимка при этом охлаждается в соответствии создаваемым остаточным давлением, а величина влагосъема при этом рассчитывается по соотношению (20).

5. Затем клапаны 8, 11, 13 закрываются и вакуумный насос 9 отключается. Включается газодувка и выжимка прогревается до заданной температуры. Процесс сопровождается повышением давления среды, фиксируемый вакуумметром 10.

6. При достижении заданного давления среды срабатывает (открывается) вакуумный клапан 11 и производится сброс давления.

7. По мерной трубке 15 фиксируется количество удаленной из выжимки воды за один цикл осциллирования давления.

Минимальное остаточное давление в конденсаторе зависит от температуры хладагента. Для получения этой зависимости из установки удаляется контейнер с выжимкой, откачивается воздух, отключается калорифер, вакуумный клапан 11 открывается, а конденсатор паров помещается в ванну 17 с рассолом хлористого кальция. При растворении соли хлористого кальция рассол охлаждается до – 40 °С. Остаточное давление фиксируется вакуумметром 10, а температура хладагента – термопарой в ванне с рассолом 17.

Максимальное остаточное давление в сушильной камере зависит от температуры калорифера. Для ускоренного определения этой зависимости контейнер с материалом помещается сушильную камеру. Из сушилки через клапан 8 при закрытых клапанах 11 и 13 откачивается воздух. В калорифере устанавливается соответствующая температура и включается газодувка 7. При достижении стабильного значения вакуумметром 10 фиксируется остаточное давление.

Задавая различные начальные значения температуры хладагента в конденсаторе и температуры в калорифере, можно регулировать разность давлений, определяющую величину влагосъема при сбросе давления. Величина влагосъема определяется из уравнения теплового баланса:

$$\Delta U = \frac{(c_м + c_ж U)(\overline{T_н} - \overline{T_к})}{r}, \quad (20)$$

где $c_м, c_ж$ – теплоемкость выжимки и удаляемой влаги, соответственно, кДж/кг·°С; r – теплота парообразования, кДж/кг·; $\overline{T_н}, \overline{T_к}$ – средняя температура выжимки перед сбросом давления и после, °С.

В свою очередь, изменение влагосодержания выжимки после каждого нового цикла и величина влагосъема при сбросе давления фиксируются по увеличению уровня хладагента в мерной трубке 15.

Температурные режимы вакуум-осциллирующей сушки определялись требованиями обеспечения баланса между энергетической и экономической целесообразностью проведения процесса, а также сохранностью ценных компонентов в получаемом сухом поливитаминном комплексе из выжимки клюквы. Поэтому начальная температура процесса составляла 20 °С, а конечная не превышала 60 °С.

Результаты и обсуждение. В результате математического моделирования и экспериментальных исследований получена зависимость минимального остаточного давления в конденсаторе паров от температуры хладагента, представленная на рисунке 3.

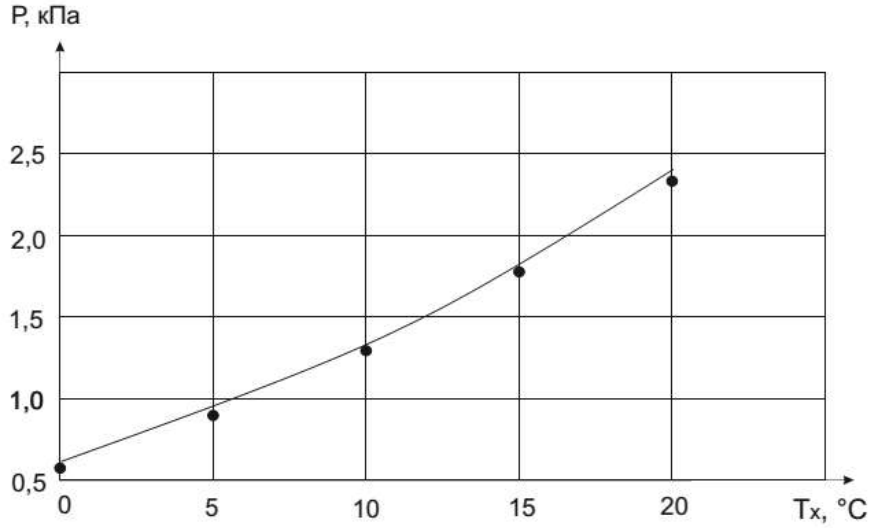


Рисунок 3 – Зависимость минимального остаточного давления в конденсаторе паров от температуры хладагента

Figure 3 – Dependence of the minimum residual pressure in the vapor condenser on the refrigerant temperature

Анализ кривой показывает, что экспериментальные данные по давлению отклоняются от расчетных не более чем на 6 %, поэтому по температуре хладагента, замеренной хромель-капелевой термопарой, можно оценить величину остаточного давления в конденсаторе паров.

Расчетная и экспериментальная зависимости максимального остаточного давления в сушильной камере от температуры в калорифере представлены на рисунке 4. Анализ приведенных данных показывает, что отклонение экспериментальных данных от расчетных увеличивается с увеличением температуры в калорифере. Это объясняется тепловыми потерями в сушильной камере, увеличивающимися вследствие разности температур внутри нее и окружающей среде.

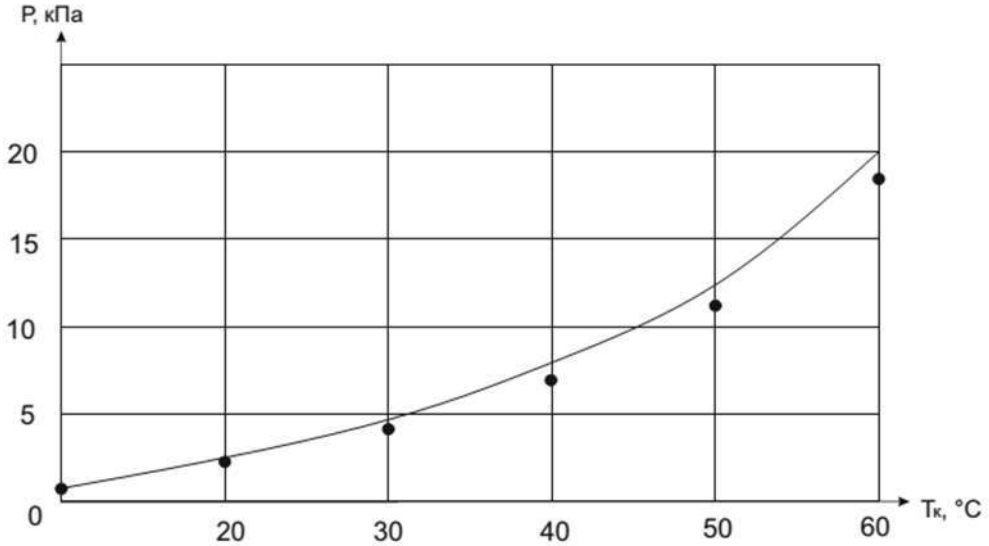


Рисунок 4 – Зависимость максимального остаточного давления в сушильной камере от температуры в калорифере
Figure 4 – Dependence of the maximum residual pressure in the drying chamber on the temperature in the calorifier

Расчетные зависимости остаточного давления в сушильной камере и конденсаторе, полученные в соответствии с уравнением Клапейрона – Менделеева (6), адекватно отражают величину давления в экспериментальной установке и могут использоваться при моделировании процесса вакуум-осциллирующей сушки.

На рисунке 5 приведены динамические зависимости влагосодержания выжимки клюквы, полученные совместным решением дифференциальных уравнений (1), (2), (8), (9), (16) и (18) для трех циклов вакуум-осциллирующей сушки. Результаты получены для выжимки клюквы, толщиной 2 мм.

Эффективное время нагревания выжимки в каждом цикле определяется достижением максимально заданного остаточного давления перед сбросом, равного 20 кПа. Анализ кривых показывает, что время сушки первого цикла составляет 20 минут, второго цикла – 25 минут, а третьего – 30 минут.

Исходное влагосодержание выжимки по сечению частиц последующих циклов меньше конечного влагосодержания предыдущего цикла на величину влагосъема за счет сброса давления. При температуре хладагента 20 °С величина влагосъема составила 2 %.

Обработкой приведенных динамических кривых сушки построены кинетические зависимости среднего влагосодержания выжимки клюквы (рисунок 6 а)) и остаточного давления в камере (рисунок 6 б)) для трех циклов сброса давления при вакуум-осциллирующей сушке с учетом периода откачки воздуха из установки.

Анализ кинетической зависимости (рисунок 6 а)) показывает, что в начальный период сушки (после сброса давления) влагосодержание меняется с малой скоростью, что связано с трудностью конвективного подвода тепловой энергии вследствие низкого остаточного давления. Поэтому при аппаратурном оформлении процесса целесообразно предусмотреть сочетание конвективного и кондуктивного подвода тепловой энергии.

Экспериментальные значения влагосодержания после каждого цикла сушки расположены ниже расчетных на 10-5 %. Такое отклонение объясняется тем, что модель не учитывает коэффициент Флейснера, определяющего долю влаги, удаленной из материала механическим путем.

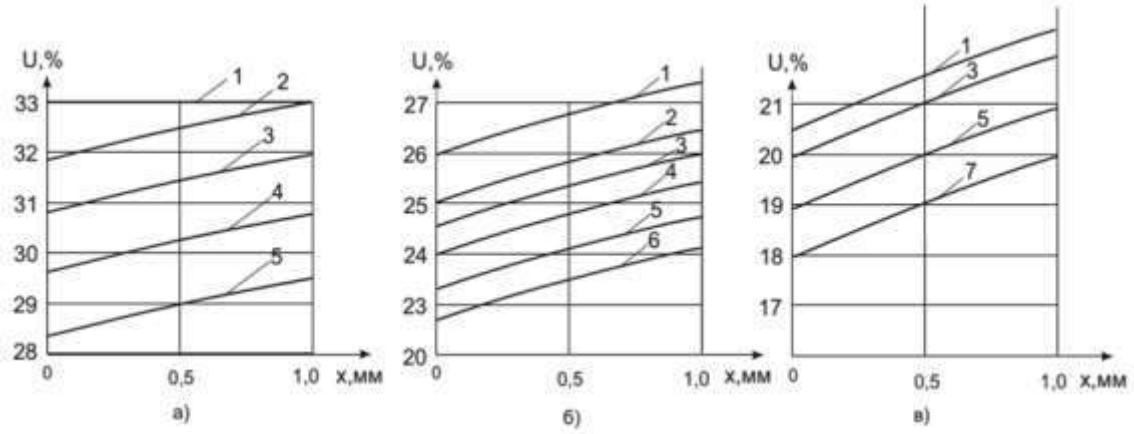


Рисунок 5 – Динамические кривые влагосодержания материала
для трех циклов сушки: а) – I цикл; б) – II цикл; в) – III цикл;
1 – τ = 0 мин; 2 – τ = 5 мин; 3 – τ = 10 мин; 4 – τ = 15 мин; 5 – τ = 20 мин;
6 – τ = 25 мин; 7 – τ = 30 мин
Figure 5 – Dynamic moisture content curves of the material for three
drying cycles: a) – I cycle; б) – II cycle; в) – III cycle;
1 – τ=0 min; 2 – τ=5 min; 3 – τ=10 min; 4 – τ=15 min; 5 – τ=20 min;
6 – τ=25 min; 7 – τ=30 min

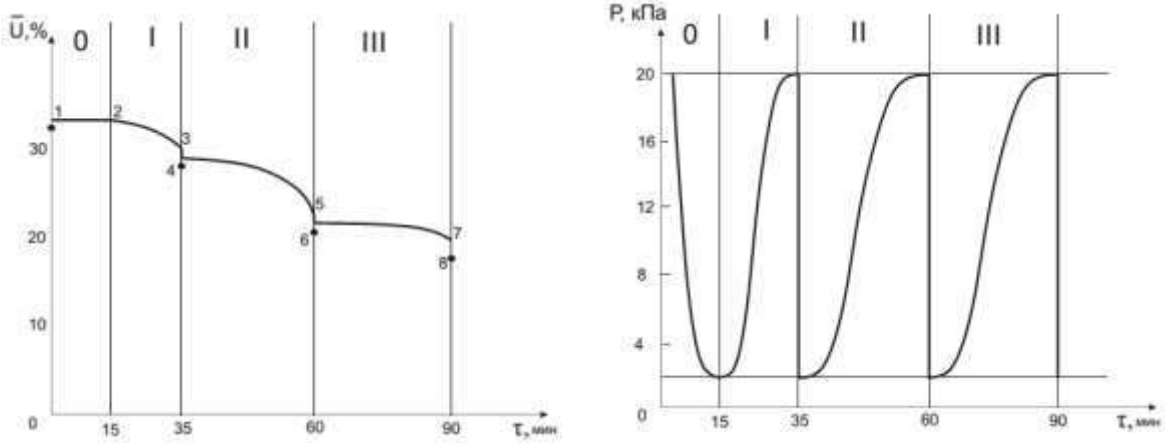


Рисунок 6 – Кинетические зависимости:
а) среднего влагосодержания выжимки клюквы;
б) остаточного давления в сушильной камере
Figure 6 – Kinetic dependencies:
a) average moisture content of cranberry pomace;
b) the residual pressure in the drying chamber

На рисунке 7 приведена расчетная величина влагосъема с выжимки при сбросе давления относительно разности температур в сушильной камере и конденсаторе, определенная по соотношению (20). Экспериментальные точки получены для выжимки с начальной влажностью 33 % при температурах в холодильнике 10, 20, 30 °С и 60 °С в калорифере.

Анализ приведенных кривых показывает, что на величину влагосъема заметное влияние оказывает разность средних температур выжимки до начала сброса давления и после. При разности температур 40 °С, заданной при моделировании процесса сушки выжимки с исходным влагосодержанием 33 %, величина влагосъема составляет 2 ± 0,1 %, разброс величины укладывается в коридор ошибок.

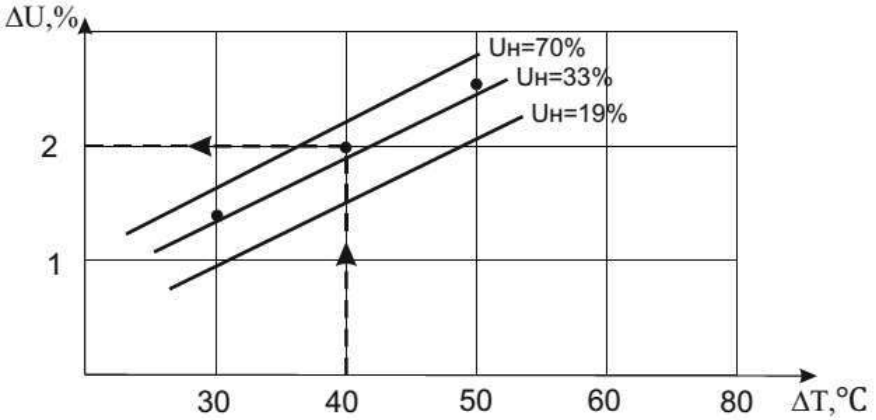


Рисунок 7 – Зависимость величины влагосъема с выжимки при сбросе давления от разности температур в сушильной камере и конденсаторе

Figure 7 – The dependence of the amount of moisture removal from the pomace during pressure relief on the temperature difference in the drying chamber and the condenser

Заключение. Представленная математическая модель процесса вакуум-осциллирующий сушки, основанная на классических уравнениях тепломассопереноса, с достаточной точностью описывает реальный процесс и может быть использована для аппаратурного оформления промышленного производства поливитаминного комплекса из выжимки клюквы.

Моделированием процесса получены динамические кривые сушки выжимки, отражающие изменение локального влагосодержания по времени и по сечению частицы. Результаты математического моделирования подтверждены экспериментально на установке, позволяющей посредством изменения температуры хладагента в конденсаторе и температуры сушильного агента в калорифере варьировать перепад давлений, и, соответственно, управлять величиной влагосъема при сбросе давления. Сушку осуществляли в диапазоне температур 20-60 °С, не оказывающего деструктивного влияния на термолабильные компоненты поливитаминного комплекса из выжимки клюквы. Установлено, что при задаваемой разности температур процесса сушки в 40 °С для выжимки с начальным влагосодержанием 33 % экспериментально определенная величина влагосъема 2 ± 0,1 % достоверно совпадает с данными моделирования, не превышая статистический коридор погрешности измерений. Полученные результаты подтверждают адекватность разработанной математической модели.

Conclusions. The presented mathematical model of the vacuum–oscillating drying process, based on classical heat and mass transfer equations, describes the real process with sufficient accuracy and can be used for the hardware design of the industrial production of a multivitamin complex from cranberry pomace.

By modeling the process, dynamic drying curves are obtained, reflecting the change of local moisture content over time and by particle cross-section and allowing to identify the kinetic dependence of the average moisture content of the material to assess the adequacy of the developed mathematical description. The mathematical modelling data has been confirmed experimentally using a device that allows to vary pressure variations by changing the temperature of the coolant in the condenser and the temperature of the drying agent in the boiler, and, accordingly, to control the value of moisture during pressure relief. Drying was carried out in the range of temperatures from 20 to 60 °C, which does not have a destructive effect on the thermolabic components of the polyvitamin complex from the cranberry extract. It was found that at the specified drying temperature difference of 40 °C for a pomace with an initial moisture content of 33 % the experimentally determined amount of moisture content (2 ± 0.1 %) is reliably consistent with the simulation data, not exceeding the statistical measurement error corridor. The results confirm the adequacy of the developed mathematical model.

Библиографический список

1. Семушкин Д. Н. и др. Классификация процессов экстракции биологически активных веществ из растительного сырья. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 108-116.

2. Patra A., Abdullah S., Pradhan R. C. Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry byproducts. Bioresour Bioprocess. 2022. No 9. Pp. 1-25.

3. Абашкин И. А. и др. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор). Химия и технология органических веществ. 2021. № 2 (18). С. 43-59.

4. Махамбетов Э. М., Ворошилин Р. А., Курбанова М. Г. Исследования получения сухого желатина при использовании вакуумной сушки со ступенчатым нагревом. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 6 (78). С. 451-461.

5. Ермолаев В. А. Низкотемпературная вакуумная сушка как способ обезвоживания растительного сырья. Вестник КрасГАУ. 2019. № 1 (142). С. 160-166.

6. Жуманова У. Т., Тултабаева Т. Ч., Тултабаев М. Ч. Сушка меда с применением методов вакуумно-микроволновой сушки. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 340-349.

7. Шингисов А. У. Методика расчета интенсивности испарения влаги при вакуумной сушке фруктов. Пищевая промышленность. 2023. № 6. С. 60-62.

8. Лифенцева Л. В. и др. Оптимизация технологии вакуумной сушки сельскохозяйственного сырья растительного происхождения. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (208). С. 82-89.

9. Ермолаев В. А. и др. Подбор оптимальных технологических режимов вакуумной сушки углеводсодержащего сырья. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 6 (390). С. 108-111.

10. Короткий И. А., Расщепкин А. Н., Федоров Д. Е. Анализ влияния температуры нагрева на эффективность вакуумной сушки плодов и ягод. Вестник КрасГАУ. 2016. № 1 (112). С. 47-52.

11. Чечеткина А. Ю. и др. Комплексная переработка ягод брусники и клюквы. Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 75-81.

12. Piasecka-Lenartowicz I. et al. Ultrasound-assisted extraction of cranberry seed oil: food waste valorization approach. European Food Research and Technology. 2023. № 249. Pp. 1-13.

13. Алексеенко Е. В., Бакуменко О. Е., Азарова М. М. Влияние предварительной обработки ягод клюквы на экстракцию антоциановых пигментов, выход сока и его антиоксидантную активность. Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 4. С. 10-27.

14. Côté J. et al. Bioactive compounds in cranberries and their biological properties. Crit Rev Food Sci Nutr. 2010. № 50 (7). Pp. 666-679.

15. Кравченко С. Н., Попова А. М., Химич А. Н. Физиологическая ценность экстрактов, полученных из высушенных ягод и жома клюквы. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2009. № 2-3. С. 43-46.

16. Сафин Р. Г. и др. Обзор исследований в области извлечения биологически активных веществ из плодов клюквы. Деревообрабатывающая промышленность. 2024. № 1. С. 71-81.

17. Репин О. А., Кумыкова С. К. Нелокальная краевая задача для системы уравнений первого порядка типа Лыкова. Вестник Самарского ГТУ Сер. Физ.-мат. науки. 2011. № 1 (22). С. 140-150.

18. Семенов Г. В., Краснова И. С., Петков И. И. Выбор режимных параметров вакуумной сублимационной сушки сухих термолабильных материалов с заданным уровнем качества. Вестник Международной академии холода. 2017. № 1. С. 18-24.

References

1. Semushkin D. N. et al. Classification of Extraction Processes of Biologically Active Substances from Plant Raw Materials. Bulletin of Kazan State Agrarian University. 2023. V. 18. No 2 (70). Pp. 108-116.

2. Patra A., Abdullah S., Pradhan R. C. Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry byproducts. Bioresour Bioprocess. 2022. No 9. Pp. 1-25.

3. Abashkin I. A. et al. Methods of Extraction of Biologically Active Substances from Plant Raw Materials (Review). Chemistry and Technology of Organic Substances. 2021. No 2 (18). Pp. 43-59.

4. Makhambetov E. M., Voroshilin R. A., Kurbanova M. G. Research on the Production of Dry Gelatin Using Vacuum Drying with Stepped Heating. Proceedings of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2024. No 6 (78). Pp. 451-461.

5. Ermolaev V. A. Low-temperature vacuum drying as a method of dehydration of plant raw materials. Vestnik KrasGAU. 2019. No 1 (142). Pp. 160-166.

6. Zhumanova U. T., Tultabaeva T. Ch., Tultabaev M. Ch. Drying of honey using vacuum-microwave drying methods. Proceedings of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. No 4 (68). Pp. 340-349.

7. Shingisov A. U. Methodology for calculating the moisture evaporation intensity during vacuum drying of fruits. Food Industry. 2023. No 6. Pp. 60-62.

8. Lifentseva L. V. et al. Optimization of the technology of vacuum drying of agricultural raw materials of plant origin. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2022. No 2 (208). Pp. 82-89.

9. Ermolaev V. A. et al. Selection of Optimal Technological Modes of Vacuum-Drying of Carbohydrate-Containing Raw Materials. News of higher educational institutions. Food technology. 2022. No 6 (390). Pp. 108-111.

10. Korotkiy I. A., Raschepkin A. N., Fedorov D. E. Analysis of the Influence of Heating Temperature on the Efficiency of Vacuum Drying of Fruits and Berries. Proceedings of the KrasSAU. 2016. No 1 (112). Pp. 47-52.

11. Chechetkina A. Yu. et al. Complex Processing of Lingonberries and Cranberries. Polzunovsky Proceedings. 2021. No 2. Pp. 75-81.

12. Piasecka-Lenartowicz I. et al. Ultrasound-assisted extraction of cranberry seed oil: food waste valorization approach. European Food Research and Technology. 2023. № 249. Pp. 1-13.

13. Alekseenko E. V., Bakumenko O. E., Azarova M. M. Influence of pre-treatment of cranberries on extraction of anthocyanin pigments, juice yield, and its antioxidant activity. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2019. No 4. Pp. 10-27.

14. Côté J. et al. Bioactive compounds in cranberries and their biological properties. Crit Rev Food Sci Nutr. 2010. № 50 (7). Pp. 666-679.

15. Kravchenko S. N., Popova A. M., Khimich A. N. Physiological value of extracts obtained from dried berries and cranberry pomace. News of higher educational institutions. Food technology. 2009. No 2-3. Pp. 43-46.

16. Safin R. G. et al. Review of research in the field of extraction of biologically active substances from cranberry fruits. Woodworking industry. 2024. No 1. Pp. 71-81.

17. Repin O. A., Kumykova S. K. Nonlocal boundary value problem for a system of first-order equations of the Lykov type. Proceedings of the Samara STU. Physical and mathematical sciences. 2011. No 1 (22). Pp. 140-150.

18. Semenov G. V., Krasnova I. S., Petkov I. I. Selection of regime parameters of vacuum sublimation drying of dry thermolabile materials with a given level of quality. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2017. No 1. Pp. 18-24.

Информация об авторах

Сафина Альбина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (Российская Федерация, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68), SPIN-код: 5930-4958, AuthorID: 754619, ORCID: 0000-0002-7344-9242, Scopus Author ID: 56069503400, ResearcherID: CAA-1333-2022, e-mail: alb_saf@mail.ru

Зиатдинова Диляра Фариловна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (Российская Федерация, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68), SPIN-код: 1846-4238, AuthorID: 326920, ORCID:0009-0003-9918-0397, e-mail: ziatdinova2804@gmail.com

Махмутов Алмаз Рамилевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (Российская Федерация, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68), ORCID: 0009-0008-1404-0106, e-mail: makhmutov.almaz@bk.ru

Сафин Рушан Гареевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (Российская Федерация, 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68), SPIN-код: 9071-4441, AuthorID: 430442, ORCID: 0000-0002-5790-4532, e-mail: safin@kstu.ru

Authors' Information

Safina Albina Valerievna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Kazan National Research Technological University (Russian Federation, 420015, Kazan, K. Marks Str., 68), SPIN-code of the author: 5930-4958, AuthorID: 754619, ORCID: 0000-0002-7344-9242, Scopus Author ID: 56069503400, ResearcherID: CAA-1333-2022, e-mail: alb_saf@mail.ru

Ziatdinova Dilyar Farilovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Kazan National Research Technological University (Russian Federation, 420015, Kazan, K. Marks Str., 68), SPIN-code of the author: 1846-4238, AuthorID: 326920, ORCID: 0009-0003-9918-0397, e-mail: ziatdinova2804@gmail.com

Makhmut Almaz Ramilyevich, Graduate student, Kazan National Research Technological University (Russian Federation, 420015, Kazan, K. Marks Str., 68), ORCID: 0009-0008-1404-0106, e-mail: makhmutov.almaz@bk.ru

Safin Rushan Gareevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, Kazan National Research Technological University (Russian Federation, 420015, Kazan, K. Marks Str., 68), SPIN-code of the author: 9071-4441, AuthorID: 430442, ORCID: 0000-0002-5790-4532, e-mail: safin@kstu.ru

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS

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

Кулик К. Н., Манаенков А. С., Хужахметова А. Ш., Барабанов А. Т., Салугин А. Н., Танюкевич В. В., Воронина В. П., Турусов В. И., Трещевская Э. И., Турчин Т. Я.
50 лет работы диссертационного совета ФНЦ агроэкологии РАН в области агролесомелиорации и защитного лесоразведения
Kulik K. N., Manaenkov A. S., Khuzhakhmetova A. Sh., Barabanov A. T., Salugin A. N., Tanyukevich V. V., Voronina V. P., Turusov V. I., Treshchevskaya E. I., Turchin T. Ya.
The 50 years' work of the Federal Research Center of Agricultural Ecology of the Russian Academy of Sciences Dissertation Council in the field of agricultural forestry and protective afforestation 16

Айтпаева А. А., Тютюма Н. В.
Влияние биопрепаратов и фунгицидных протравителей на урожайность и качественные характеристики зерна озимой пшеницы
Aitpayeva A. A., Tyutyuma N. V.
The biological preparations and fungicide treatments effect on the winter wheat grain yield and quality characteristics 27

Балашова Н. Н., Немченко А. В.
Специфика установления размера арендной платы за земли сельскохозяйственного назначения
Balashova N. N., Nemchenko A. V.
The agricultural land rental fee setting specificity 36

Бондаренко А. Н., Петров Е. Н., Тютюма А. В.
Анализ эффективности применения фунгицидов в борьбе с фитофторозом (Phytophthora) при возделывании картофеля
Bondarenko A. N., Petrov E. N., Tyutyuma A. V.
The fungicides effectiveness analysis in the control of the late blight (Phytophthora) in the potato cultivation 43

Исаев М. М., Ахмедов А. Д., Халилов Х. Х., Касымов К. Р.
Разработка интеллектуальной информационно-измерительной системы, интегрированной в беспилотные летательные аппараты для мониторинга сельскохозяйственных полей
Isaev M. M., Akhmedov A. D., Khalilov H. H., Kasymov K. R.
The development of the intelligent information and measuring system integrated into the unmanned aerial vehicles for monitoring agricultural fields 52

Ковтуненко В. Я., Мелешко Д. А.
Влияние погодно-климатических условий на динамику полового состава и морфологию однодомной конопли сорта Сейм в агроценозах Кубани
Kovtunenko V. Ya., Meleshko D. A.
The weather and climate conditions influence on the sex composition dynamics and morphology of the monoecious hemp of the Seim variety in the agrocenoses of Kuban 61

Кузнецов Е. В., Бочарникова О. В., Хаджиди А. Е., Кравченко Л. В.
Комбинированная схема подачи воды из каналов для повышения водообеспеченности мелиоративных систем
Kuznetsov E. V., Bocharnicova O. V., Khadzhidi A. E., Kravchenko L. V.
The canals combined water supply scheme to increase land reclamation systems water availability 72

Мисюряев В. Ю., Ткаченко З. А.
Оптимизация эффективности выращивания горчицы на степных ландшафтах Волгоградской области
Misyuryaev V. Yu., Tkachenko Z. A.
The mustard cultivation efficiency optimization in the Volgograd region steppe landscapes 79

Никитин С. Н.
Эффективность применения биопрепаратов и минеральных удобрений на горохе в Среднем Поволжье
Nikitin S. N.
The application efficiency of the biological products and mineral fertilizers on peas cultivating in the Middle Volga region conditions 84

Петров В. С., Антонян А. К., Христенко П. А., Кожевников Е. А., Козина Т. Д.
Клоны красных технических сортов винограда Каберне Совиньон, Саперави и Гранатовый в Северо-Западном Предкавказье
Petrov V. S., Antonyan A. K., Khristenko P. A., Kozhevnikov E. A., Kozina T. D.
The Cabernet Sovinion, Saperavi and Granatovyi red grape variety clones in the conditions of the North-Western Pre-Caucasus 95

Петров Н. Ю., Денисов К. Е., Петров Ю. Н., Солодовников А. П., Калмыкова Е. В., Еременко В. Д., Горбачева А. С.
Водопотребление и урожайность столовой моркови в зоне каштановых почв юга России
Petrov N. Yu., Denisov K. E., Petrov Yu. N., Solodovnikov A. P., Kalmykova E. V., Eremenko V. D., Gorbacheva A. S.
The carrot water consumption and yield in the southern Russia dark brown soils conditions 107

Рогачев Д. А., Рогачев А. Ф.
Математическое моделирование эвапотранспирации для построения цифровых двойников орошаемых сельскохозяйственных культур в условиях Юга России
Rogachev D. A., Rogachev A. F.
The evapotranspiration mathematical modeling for the irrigated crops digital twins constructing in the Southern Russia conditions 112

Цепляев А. Н., Семененко С. Я., Куприянов А. А., Мельник С. В.
Динамика урожайности нута при использовании сополимеров с удобрениями в условиях орошения
Tseplyaev A. N., Semenenko S. Ya., Kupriyanov A. A., Melnik S. V.
The chickpea yield dynamics when using the copolymers in combination with fertilizers under the irrigation conditions 121

Аминова Е. В.
Перспективы селекции *Ribes aureum* Purs. на продуктивность и устойчивость к видам тли (*Aphis grossulariae* Kalt. и *Cryptomyzus ribis* Linnaeus)
Aminova E. V.
The Ribes aureum Pursh. breeding prospects on productivity and aphid species (*Aphis grossulariae* Kalt. and *Cryptomyzus ribis* Linnaeus) resistance 130

Булахтина Г. К., Подопригоров Ю. Н., Хюпинина Е. В.
Интродукция ржи многолетней сорта Державинская 29 в почвенно-климатические условия Астраханской области
Bulakhtina G. K., Podoprigorov Yu. N., Khyupinina E. V.
The perennial rye variety Derzhavinskaya 29 introduction in the Astrakhan region soil and climatic conditions 137

Денисова М. А., Бочарников В. С., Бочарникова О. В.
Достижение нормативов сброса тяжелых металлов при очистке сточных вод животноводческих комплексов методом ферритизации
Denisova M. A., Bocharnikov V. S., Bocharnikova O. V.
The heavy metals discharge standards achieving in the livestock complexes wastewater treatment with ferritization method 145

Зайцева Н. А., Климова И. И.
Параметры водного режима коллекционных образцов Carthamus tinctorius L. в аридных условиях Северного Прикаспия
Zaitseva N. A., Klimova I. I.
The water regime parameters of Carthamus tinctorius L. collection specimens in the Northern Caspian region arid conditions 152

Комаров Е. В., Комарова О. П.
Состав, структура и особенности пространственного распределения сообществ жуков-чернотелок (Coleoptera, Tenebrionidae) в орошаемом агроландшафте
Komarov E. V., Komarova O. P.
The black beetles communities (*Coleoptera, Tenebrionidae*) composition, structure, and spatial distribution features in the irrigated agricultural landscape 162

Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю., Ермилина Н. Н.
Взаимосвязь урожайности с физико-механическими свойствами зерна сортов и перспективных линий ярового ячменя в условиях Средневолжского региона
Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu., Ermilina N. N.
The correlation of the yield and the physical and mechanical properties of spring barley grain varieties and prospective lines in the conditions of the Middle Volga region 169

Межевова А. С., Рябуха А. Ф.
Экологическое состояние отдельных водных объектов Волго-Ахтубинской поймы
Mezhevova A. S., Ryabukha A. F.
The ecological state of the Volga-Akhutuba floodplain selected water bodies 180

Неверов А. А.
Современные тенденции изменения климата и урожайности ячменя в степной зоне Предуралья
Neverov A. A.
The climate changes current trends and the barley yield in the steppe zone of the Ural region 190

Турко С. Ю., Рыбашлыкова Л. П.
Агроэкологическая оценка и продуктивность видов рода *Agropyron* различных форм как фитомелиорантов в засушливой зоне юга России
Turko S. Yu., Rybashlykova L. P.
The agricultural and ecological assessment and the productivity of the various forms of *Agropyron* species as phytomeliorants in the southern Russia arid zone 200

Фахреев Н. Н., Зиганшин Б. Г., Шагеев М. Ф.
Эксергетический анализ производства картофеля при использовании отходов агропромышленного комплекса
Fakhreev N. N., Ziganshin B. G., Shageev M. F.
The exergetic analysis of the potato production with the agro-industrial complex waste usage 209

Хужахметова А. Ш., Воронина В. П., Сапронова Д. В.
Натурализация интродуцированных древесных растений в засушливых условиях и опасность инвазионного распространения
Khuzhakhmetova A. Sh., Voronina V. P., Sapronova D. V.
The introduced woody plants naturalization in the arid conditions and the danger of their invasive spread 215

Беляев И. А.
Роль минерального питания в формировании урожайности ярового ячменя в Волгоградском Заволжье
Belyaev I. A.
The mineral nutrition value in the spring barley yield formation in the Volgograd trans-Volga region 224

Богомолова Н. В., Новиков А. Е., Шмелёва М. Ю.
Анализ долгосрочных метеорологических рядов как основа изучения климатического режима для повышения устойчивости аграрного сектора.
Bogomolova N. V., Novikov A. E., Shmelyova M. Yu.
The long-term meteorological series analysis as the basis for the climate regime studying in order to increase the agricultural sector sustainability 231

Болгов И. А., Балынова В. В.
Лесомелиоративная защищенность агроландшафтов чернозёмной зоны Волгоградской области от ветровой эрозии
Bolgov I. A., Balynova V. V.
The anti-wind erosion protection of the agricultural landscapes of the Volgograd region dark-colored soils zone 240

Виноградов В. А., Солонкин А. В.
Рентгенографическая оценка всхожести семян облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) различного географического происхождения
Vinogradov V. A., Solonkin A. V.
The X-ray assessment of the Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) various geographical origin seeds germination 250

Гузенко А. Ю. Солонкин А. В.
Влияние биологических препаратов с содержанием серы и бора на фотосинтетический потенциал и урожайность сортов ярового ячменя в условиях Нижнего Поволжья
Guzenko A. Yu., Solonkin A. V.
The effect of the biological preparations with sulfur and boron content on the spring barley varieties photosynthetic potential and yield in the conditions of the Lower Volga region 260

Кузнецов А. С., Сергеева И. А., Степанова Д. И., Григорьев М. Ф.
Результаты испытания гуминового препарата на урожайность томатов в защищенном грунте
Kuznetsov A. S., Sergeeva I. A., Stepanova D. I., Grigorev M. F.
The humic preparation testing results on the yield of tomatoes grown in the greenhouses 271

Оросов С. А., Петров Н. Ю., Батыров В. А., Кузнецова Н. В., Хавронина В. Н.
Агроэкологические особенности возделывания нута на каштановых почвах Республики Калмыкия
Orosov S. A., Petrov N. Yu., Batyrov V. A., Kuznetsova N. V., Khavronina V. N.
The chickpea cultivation agricultural and ecological features under the Kalmykia Republic dark brown soils' conditions 278

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ / ANIMAL SCIENCE AND VETERINARY MEDICINE

Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Мосолов А. А., Воронцова Е. С., Мосолова Е. А., Шахбазова О. П., Раджабов Р. Г.
Сравнительная характеристика молочной продуктивности и качества молока коров разных пород в условиях Волгоградской области
Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Mosolova E. A., Shakhbazova O. P., Radzhabov R. G.
The dairy productivity and milk quality of the different breeds cows comparative characteristics in the Volgograd region conditions 287

Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Мосолов А. А., Воронцова Е. С., Шахбазова О. П., Раджабов Р. Г.
Биологическая эффективность пребиотической добавки «Ди-лактоцин-Я» у ремонтных курочек
Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Mosolov A. A., Vorontsova E. S., Shakhbazova O. P., Rajabov R. G.
The "Di-lactozin-Ya" prebiotic additive biological effectiveness in the young chickens feeding 298

Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Максак Д. А.
Использование люцерны в кормах для аквакультуры
Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Maksak D. A.
The alfalfa using in the aquaculture feeds 306

Варакин А. Т., Симонов Г. А., Старковский Б. Н., Симонов А. Г., Воронцова Е. С., Старковская Н. В.
Эффективность возделывания кипрея узколистного (иван-чая) в Северо-Западном регионе России
Varakin A. T., Simonov G. A., Starkovskiy B. N., Simonov A. G., Vorontsova E. S., Starkovskaya N. V.
The narrow-leaved fireweed (Ivan-chai) cultivation efficiency in the north-western region of Russia 320

Иванцова Е. А., Венецианский А. С., Улыбина А. Р.
Анализ потенциальных аллергенов в кормах для собак с чувствительным пищеварением с использованием биоинформатических методов
Ivantsova E. A., Venetsiansky A. S., Ulybina A. R.
The potential allergens analysis of the fees for the sensitive digestion dogs with the bioinformatics methods usage 328

Колосов Ю. А., Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Абонеев В. В., Куликова А. Я., Колосова Н. Н.
Внутри- и межлинейный подбор в сальской породе овец
Kolosov Yu. A., Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Aboneev V. V., Kulikova A. Ya., Kolosova N. N.
The Salsk sheep breed intra- and interlinear selection 335

Комлацкий Г. В., Терещенко Г. А., Комлацкая М. Г.
Организационно-экономические и технологические аспекты конкурентоспособности российского пчеловодства
Komlatsky G. V., Tereshchenko G. A., Komlatskaya M. G.
The organizational, economic and technological aspects of the Russian apiculture competitiveness 344

Мосолов А. А., Натыров А. К., Мосолова Д. А., Ахмадов Т. М., Горлов И. Ф.
Сравнительный анализ продуктивных характеристик русской комолой и калмыцкой пород крупного рогатого скота
Mosolov A. A., Natyrov A. K., Mosolova D. A., Akhmadov T. M., Gorlov I. F.
The comparative analysis of the Russian hornless and Kalmyk cattle breeds productive characteristics 353

Нуржанов Б. С., Рахматуллин Ш. Г., Дускаев Г. К.
Эффективность использования комбикорма цыплятами-бройлерами на фоне скармливания фитоэкстракта
Nurzhanov B. S., Rakhmatullin Sh. G., Duskaev G. K.
The compound feed effectiveness combined with the phytoextract in the broiler chickens feeding 360

Сампиев А. М., Кравченко Ю. В.
Оценка безопасности применения фармакологического средства Канипрост по результатам исследования хронической токсичности
Sampiev A. M., Kravchenko Yu. V.
The “Caniprost” pharmaceutical product safety assessment based on the chronic toxicity research results 367

Суров А. И., Карпова Е. Д., Кононова Л. В., Алимова В. Р., Колосов С. Е.
Перспективные гены-кандидаты, ассоциированные с продуктивностью молочных овец
Surov A. I., Karpova E. D., Kononova L. V., Alimova V. R., Kolosov S. E.
The promising candidate genes associated with the dairy sheep productivity 383

Чамурлиев Н. Г., Шперов А. С., Абдулхаликов А. М., Мосолов А. А.
Влияние новых отечественных кормовых добавок на мясную продуктивность и убойные качества баранчиков эдильбаевской породы
Chamurliev N. G., Shperov A. S., Abdulkhalikov A. M., Mosolov A. A.
The effect of the new domestic fodder additives on the Edilbayevskaya sheep breed meat productivity and slaughter qualities 392

Чехранова С. В., Куленко В. О., Николаев С. И., Водянникова В. В., Карапетян А. К., Корнилова Е. В., Каширина Л. Г.
Изменчивость и взаимосвязь показателей молочной продуктивности у джерсейских коров разных линий и генераций
Chekhranova S. V., Kulenko V. O., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Karapetyan A. K., Kornilova E. V., Kashirina L. G.
The milk production indicators variability and interrelation of the Jersey cows’ different lines and generations 397

Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Селимян М. О., Богорадова Л. Н.
Динамка численности коров молочных пород на Европейском Севере Российской Федерации
Abramova N. I., Khromova O. L., Selimyan M. O., Bogoradova L. N.
The dynamics of the dairy cows’ number in the European North of the Russian Federation 406

Зотеев С. В., Зотеев В. С., Чехранова С. В., Николаев С. И., Воронцова Е. С., Водянникова В. В.
Использование зерна сорго в кормлении высокопродуктивных коров
Zoteev S. V., Zoteev V. S., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vorontsova E. S., Vodyannikova V. V.
The usage of the sorghum grain in the high-productive cows feeding 417

Косарева Н. А., Новикова Н. Н.
Оптимизация питательного состава кормовых рационов для молочного скота
Kosareva N. A., Novikova N. N.
The optimization of the dairy cattle fodder diets nutritional composition 425

Петрова М. Ю., Новикова Н. Н., Косарева Н. А.
Коровы-рекордистки красных пород в условиях Омской области
Petrova M. Yu., Novikova N. N., Kosareva N. A.
The record-breaking red breed cows in the Omsk region conditions 432

Абдулхаликов А. М., Чамурлиев Н. Г., Шперов А. С., Мосолов А. А.
Влияние новых кормовых добавок на химический состав и органолептические показатели мяса баранчиков эдильбаевской породы
Abdulkhalikov A. M., Chamurliev N. G., Shperov A. S., Mosolov A. A.
The new fodder additives effect on the Edilbayevskaya breed sheep meat chemical composition and organoleptic parameters 441

Глухова О. Н., Хакимов И. Н., Николаев С. И., Водянникова В. В., Каширина Л. Г.
Влияние разных вариантов отбора матерей на продуктивность молодняка герефордской породы
Glukhova O. N., Khakimov I. N., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Kashirina L. G.
The different dam selection strategies effect on the Hereford youngstock productivity 447

Зуев В. А., Кощаев А. Г.
Обоснование применения кормовой добавки на основе фукоидана в рыбоводстве
Zuev V. A., Koshchaev A. G.
The fucoside-based fodder additives usage justification for the fish farming 456

Куленко В. О., Чехранова С. В., Николаев С. И., Водянникова В. В., Крикунов Н. А., Карапетян А. К., Шаповалов С. О., Каширина Л. Г.
Возрастная динамика молочной продуктивности коров джерсейской породы
Kulenko V. O., Chekhranova S. V., Nikolaev S. I., Vodyannikova V. V., Krikunov N. A., Karapetyan A. K., Shapovalov S. O., Kashirina L. G.
The age-related dynamics of the Jersey cows' milk production 462

Мыльников Д. Д., Сазонова И. А., Батанов С. Д., Николаев С. И., Воронцова Е. С., Каширина Л. Г.
Влияние кормовой добавки на основе чины посевной на некоторые показатели крови молодняка овец эдильбаевской породы
Mylnikov D. D., Sazonova I. A., Batanov S. D., Nikolaev S. I., Vorontsova E. S., Kashirina L. G.
The effect of the fodder additive based on Lathyrus sativus on the young Edilbaevskaya breed sheep some blood parameters 471

Сладкова С. В., Любимцев В. А., Холодкевич С. В., Бахарева А. А., Кравченко Ю. В.
Влияние температуры на функциональное состояние раков Cherax quadricarinatus (von Marten) оцениваемое по показателям кардиоактивности
Sladkova S. V., Lyubimtsev V. A., Kholodkevich S. V., Bakhareva A. A., Kravchenko Yu. V.
The temperature effect on the *Cherax quadricarinatus* (von Marten) crayfish functional state assessed by the cardio activity indicators 479

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Бакиров С. М., Колганов Д. А., Елисеев С. С., Абзалов М. А.
Обоснование способа определения даты полива сельскохозяйственных культур
Bakirov S. M., Kolganov D. A., Eliseev S. S., Abzalov M. A.
The substantiation of the agricultural crops irrigation date determining method 493

Кочеткова О. В., Арьков Д. П.
Модернизация архитектуры рыбоводческого предприятия с целью повышения эффективности его деятельности
Kochetkova O. V., Arkov D. P.
The fish farm architecture modernization in order to increase its efficiency 499

Лебедь Н. И., Цепляев В. А., Цепляев А. Н., Фомин С. Д., Мулинцев А. И., Аксенов М. П.
Автоматизированная система мониторинга и управления процесса комбинированного резания на основе компьютерного зрения архитектуры «YOLO v8s»
Lebed N. I., Tseplyaev V. A., Tseplyaev A. N., Fomin S. D., Mulintsev A. I., Aksenov M. P.
The automated monitoring and control system for the combined cutting process based on the YOLO v8s architecture computer vision 511

Лимаренко Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Баринова Е. В., Кондратьев Л. Н.
Цифровая технология оперативного расчета выбросов загрязняющих веществ от объектов животноводства
Limarenko N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N., Barinova E. V., Kondratiev L. N.
The digital technology for the animal household facilities pollutant emissions operational calculation ... 519

Мурог И. А., Успенский И. А., Юхин И. А., Бышов Д. Н., Астахов П. А.
Анализ факторов влияния на ресурс шин
Murog I. A., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Byshov D. N., Astakhov P. A.
The affecting tire resource factors analysis 531

Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И.
Оптимизация режимного параметра игольчатого диска турбодискового культиватора для вертикальной обработки почвы
Priporov I. E., Kurasov V. S., Batsunov V. I.
The turbo disc cultivator needle disc operating parameter optimization for the vertical tillage 544

Ряднов А. И., Федорова О. А., Шарипов Р. В., Лобачев Д. Р.
Результаты исследований соргоуборочного комбайна с измельчителем растительных остатков зернового сорго
Ryadnov A. I., Fedorova O. A., Sharipov R. V., Lobachev D. R.
The research results on the sorghum harvester with the grinder for grain sorghum 551

Смелик В. А., Фомин С. Д., Захаров А. М., Перекопский А. Н.
Математическая модель технологического процесса уборки зерновых культур с учетом вероятностного характера внешних условий
Smelik V. A., Fomin S. D., Zakharov A. M., Perekopskiy A. N.
The grain harvesting technological process mathematical model with taking into account the external conditions probabilistic nature 560

Успенский И. А., Мурог И. А., Юхин И. А., Синицин П. С., Филюшин О. В., Кутыраев А. А.
Цифровая технология расчёта гарантированной вероятности безотказной работы запасных частей с предиктивной оценкой их надёжности на основе модели Пуассона
Uspensky I. A., Murog I. A., Yukhin I. A., Sinitsin P. S., Filyushin O. V., Kutyraev A. A.
The digital technology for the guaranteed probability of the spare parts' failure-free operation calculating with the predictive assessment of their reliability based on the Poisson model 571

Барабанов В. В., Соловьев А. В., Рабецкая О. И., Геращенко А. А.
Обоснование актуальности применения полимерных водонесущих труб с переменной толщиной стенки на барабанных дождевальных машинах
Barabanov V. V., Soloviev A. V., Rabetskaya O. I., Gerashchenko A. A.
The rationale of the polymer water-carrying pipes with variable wall thickness usage relevance on the hose-reel irrigation machines 579

Дондоков Ю. Ж., Афанасьева Т. И., Стрикунов Н. И., Дринча В. М., Борисенко И. Б. Тарасов И. М.
Тенденции развития поточных технологий подготовки семян
Dondokov Y. Z., Afanasyeva T. I., Strikunov N. I., Drincha V. M., Borisenko I. B., Tarasov I. M.
The seed preparation flow technologies development trends 585

Лытов М. Н.
Состав и алгоритм обработки данных в системе эколого-мелиоративного мониторинга орошаемых земель
Lytov M. N.
The data processing composition and algorithm in the system of the irrigated lands ecological and land reclamation monitoring 600

Чаплыгин М. Е., Скумин М. В.
Технические и технологические направления развития современного комбайностроения
Chaplygin M. E., Skumin M. V.
The technical and technological directions of the modern combine manufacturing development .. 610

Соколов И. Ю., Дарманян А. П., Богданов С. И.
Снижение накипи в проточных водных растворах под воздействием электромагнитных волн
Sokolov I. Yu., Darmanian A. P., Bogdanov S. I.
The scale reduction in the flowing water solutions by the electromagnetic waves 623

Коваленко И. А., Пахомов А. А.
Количественная оценка комплексного процесса коррозии бетонных конструкций при восстановлении мелиоративных гидротехнических сооружений
Kovalenko I. A., Pakhomov A. A.
The complex corrosion process of the concrete structures quantitative assessment during the reclamation hydraulic facilities rehabilitation 632

Горлов И. Ф., Широкова Н. В.
Применение изолята белка гороха для производства кондитерских изделий
Gorlov I. F., Shirokova N. V.
The pea protein isolates usage in the pastry goods production 650

Сафина А. В., Зиатдинова Д. Ф., Махмутов А. Р., Сафин Р. Г.
Математическое моделирование вакуум-осциллирующей сушки выжимки клюквы
Safina A. V., Ziatdinova D. F., Makhmutov A. R., Safin R. G.
The cranberry pomace vacuum-oscillating drying mathematical modeling 658

СОДЕРЖАНИЕ / ABSTRACTS..... 670

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 № 3 (87), 2026

Ответственный редактор – *Д. А. Шишлянникова*
Технический редактор – *Т. А. Ситникова*
Компьютерная верстка – *Е. С. Дергачева*
Перевод – *Н. В. Тураева*

Реестровая запись: серия ПИ № ФС77-80865 выдано 23.04.2021
Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Издается с 1997 г. Выходит 6 раз в год.

Подписной индекс ПП573
Адрес издателя и редакции: 400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26.
Электронная почта izvestiya-volgau@mail.ru
Дата выхода 30.06.2026.
Тираж 1000 (первый завод 100). Заказ 115.
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 № 3 (87), 2026

Executive editor – *D. A. Shishlyannikova*
Technical editor – *T. A. Sitnikova*
Desktop publishing – *E. S. Dergacheva*
Translation – *N. V. Turaeva*

Registry entry: PI series no. FS77-80865 issued on 23.04.2021
Federal Service for Supervision of Communications,
Information technology and mass communications
Published since 1997. Published 6 times a year.

Subscription Index ПП573
Address of publisher and editorial staff: 400002, Volgograd, University Avenue, 26
E-mail: izvestiya-volgau@mail.ru
Release Date 30.06.2026.
Edition 1000 (first factory 100). Order 115.
Printed at the Publishing and Printing Complex of the Volgograd State Agrarian University «Niva»
400002, Volgograd, University Avenue, 26.

Free price