

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

ISSN 0869-8155 (print)
ISSN 2686-701X (online)

5
2026



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Наш
канал
в МАКС



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



ВЕТЕРИНАРИЯ

Зависимость уровня производственной статусности свиней и биохимических показателей крови

33

АГРОНОМИЯ

Контроль за жизнеспособностью коллекционных биообразцов возбудителя антракноза льна

104

ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Исследование молока, обогащенного хелатным комплексом цинка с витаминами C и B₆

138

5 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 406, номер 5, 2026

Volume 406, number 5, 2026

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© журнал «Аграрная наука»

© авторы

Авторские права © 2024 Эта статья открытого доступа, распространяемая в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), позволяющей третьим лицам копировать и распространять материал на любом носителе или в любом формате, а также делать ремиксы, преобразовывать и дополнять материал в любых целях, даже коммерческих, при условии, что исходная работа надлежащим образом цитируется и указывается ее лицензия.



DOI журнала 10.32634/0869-8155

Журнал «Аграрная наука» решением ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора наук и кандидата наук. Распоряжение Минобрнауки России от 12 февраля 2019 г. № 21-р

Журнал «Аграрная наука» включен в базу данных AGRIS (Agricultural Research Information System) — Международную информационную систему по сельскому хозяйству и смежным с ним отраслям.

Журнал «Аграрная наука» включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Полные тексты статей доступны на сайте eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru>

Учредитель: Общество с ограниченной ответственностью «ВИК — здоровье животных»

Шеф-редактор Костромичева И.В.

Научный редактор Долгая М.Н.

Дизайн и верстка Антонов С.Н.

Редактор-корректор Кузнецова Г.М.

Библиограф Нерозник Д.С.

Журналист Седова Ю.Г.

Менеджер по работе с клиентами Теплова А.С.

Юридический адрес: 107053, РФ, г. Москва, ул. Садовая-Спасская, д. 20

Почтовый адрес: 109147, РФ, г. Москва, ул. Марксистская, д. 3, стр. 2

Тел. редакции +7 (916) 616-05-31

agrovetpress@inbox.ru

www.vetpress.ru

<https://agrarnayanauka.ru>

Реклама в журнале: +7 (927) 155-08-10

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-76484 от 02 августа 2019 года.

На печатный журнал можно подписаться:

в редакции по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453, agrovetpress@inbox.ru;

в агентстве подписки ООО «Урал-Пресс Округ» — <https://www.ural-press.ru/catalog/>

Бесплатная подписка на электронную версию — <https://agrarnayanauka.ru>

Подписка на архивные номера и отдельные статьи: на сайте научной редакции <https://www.vetpress.ru/jour>

на сайте научной электронной библиотеки www.elibrary.ru

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.

Подписано в печать 18.05.2026

Дата выхода в свет 26.05.2026

Отпечатано в типографии ООО «Поли Принт Сервис», 127015, г. Москва, ул. Бутырская, д. 86

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

Ежемесячный научно-теоретический и производственный журнал выходит один раз в месяц.

В октябре 1956 г. был основан журнал «Вестник сельскохозяйственной науки», а в 1992 г. он стал называться «Аграрная наука».

Издатель:

Автономная некоммерческая организация «Редакция журнала «Аграрная наука» 107053, Россия, г. Москва, ул. Садовая-Спасская, д. 20

Главный редактор

Виолин Б.В., кандидат ветеринарных наук, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН», г. Москва, Россия.

Заместитель главного редактора:

Ребезов М.Б., доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатовой Российской академии наук, г. Москва, Россия.

Редакционная коллегия

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Аббас Р.З., PhD, доцент, Сельскохозяйственный университет Фейсалабад, г. Фейсалабад, Пакистан.

Ансори А.Н.М., PhD, Университет Эйрланга, г. Сурабая, Индонезия.

Василевич Ф.И., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, г. Москва, Россия.

Джаванмард М., доктор ветеринарной медицины, Иранская научно-исследовательская организация по науке и технологиям, г. Тегеран, Иран.

Зайц И., доктор ветеринарных наук, Университет ветеринарии и фармацевтики в Брно, г. Брно, Чехия.

Кощаев А.Г., доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия.

Панин А.Н., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.

Подобед Л.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Институт животноводства Национальной академии аграрных наук Украины, г. Харьков, Украина.

Уша Б.В., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.

Фисинин В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Российской академии наук, г. Сергиев Посад, Россия.

Юлдашбаев Ю.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Ятусевич А.И., доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАН, Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины, г. Витебск, Беларусь.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Абдурашулов А.Х., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Ошский государственный университет, г. Ош, Кыргызстан.

Абилов А.И., доктор биологических наук, профессор, Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия.

Акназаров Б.К., доктор ветеринарных наук, профессор, Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина, г. Бишкек, Кыргызстан.

Алиев А.Ю., доктор ветеринарных наук, Прокаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт, г. Махачкала, Россия.

Андреева А.В., доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

Горелик О.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия.

Гриценко С.А., доктор биологических наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

Дерхо М.А., доктор биологических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

Колесник Е.А., доктор биологических наук, доцент, Государственный университет просвещения, г. Москва, Россия

Концевая С.Ю., доктор ветеринарных наук, профессор, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия.

Косилов В.И., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия.

Лоретц О.Г., доктор биологических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия.

Лысенко Ю.А., доктор биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Мионова И.В., доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

Некрасов Р.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия.

Позябин С.В., доктор ветеринарных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, г. Москва, Россия.

Радчиков В.Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Научно-Практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, г. Жодино, Беларусь.

Рустамова С.И., PhD, Ветеринарный научно-исследовательский институт при Минсельхозе Республики Азербайджан, г. Баку, Азербайджан.

К основным целям издания относятся: продвижение российской и мировой аграрной науки, содействие прогрессивным разработкам и развитию инновационных технологий, формирование теоретических основ для производителей сельскохозяйственной продукции, поддержка молодых ученых, освещение и популяризация передовых научных исследований.

Научная концепция издания предполагает публикацию современных достижений в аграрной сфере, результатов ключевых национальных и международных исследований. К публикации приглашаются как отечественные, так и зарубежные авторы.

Журнал «Аграрная наука» способствует обобщению практических достижений в области сельского хозяйства, повышению научной и практической квалификации исследователей и практиков данной отрасли.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна. Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов публикуемых материалов. Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Семенов В.Г., доктор биологических наук, профессор, Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия.

Сотникова Л.Ф., доктор ветеринарных наук, профессор, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.

Степанова М.И., доктор биологических наук, профессор, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.

Толуприя Л.Ю., доктор биологических наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия.

Щербачев П.Н., доктор ветеринарных наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

АГРОНОМИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Нтсомбох-Нцефонг Г., PhD, Университет Яунде I, г. Яунде, Камерун.

Джураев М.Я., PhD, доцент, Андижанский институт сельского хозяйства и агротехнологий, г. Андижан, Узбекистан.

Насиев Б.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, г. Уральск, Казахстан.

Тирувенгадам М., PhD, Университет Конкук, г. Сеул, Южная Корея.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бунин М.С., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, г. Москва, Россия.

Гричанов И.Я., доктор биологических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, г. Пушкин, Россия.

Долженко Т.В., доктор биологических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия.

Драгавцева И.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия, г. Краснодар, Россия.

Зейналов А.С., доктор биологических наук, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, г. Москва, Россия.

Исламгулов Д.Р., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.

Казахмедов Р.Э., доктор биологических наук, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, г. Дербент, Россия.

Калмыкова Е.В., доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, г. Волгоград, Россия.

Никитин С.Н., доктор сельскохозяйственных наук, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немцева, г. Ульяновск, Россия.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Афрасьяб Х., доктор гидромеханики и гидромеханики, Университет Кебангсаан Малайзия, Банги, Малайзия.

де Соуза К.К., PhD, Региональный университет Блюменау, г. Блюменау, Бразилия.

Зенгин Г., PhD, профессор, Сельчукский университет, г. Сельчуку-Конья, Турция.

Кузнецова О.А., доктор технических наук, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, г. Москва, Россия.

Миронеску М., доктор технических наук, профессор, Университет Лучиана Блага в Сибиу, г. Сибиу, Румыния.

Саркар Т., PhD, Политехнический институт Мальды, г. Мальда, Индия.

Сложенкина М.И., доктор биологических наук, профессор, член-корр. РАН, Поволжский НИИ производства и переработки мясо-молочной продукции, г. Волгоград, Россия.

Смауи С., PhD, Университет Сфакса, г. Сфакс, Тунис.

Фавзи М.М., PhD, профессор, Маврикийский университет, г. Редут, Маврикий.

Хан А., доктор гидромеханики и гидротехники, Университет Кебангсаан Малайзия, г. Банги, Малайзия.

Хан М.У., PhD, Сельскохозяйственный университет Фейсалабад, г. Фейсалабад, Пакистан.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Аль-Сухайми С.А., PhD, профессор, Город научных исследований и технологических приложений, г. Нью-Борг-Эль-Араб, Александрия, Египет

Бабищ О.О., доктор технических наук, доцент, Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, г. Калининград, Россия.

Броханов А.Ю., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Институт агроинженерных и экологических проблем — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Санкт-Петербург, Россия.

Есимбеков Ж.С., PhD, Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, г. Алматы, Казахстан.

Зинина О.В., доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

Иванов Ю.Г., доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Ишевский А.Л., доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия.

Калинина И.А., доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия.

Кузнецова Е.А., доктор технических наук, доцент, Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел, Россия.

Максимова С.Н., доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, г. Владивосток, Россия.

Резниченко И.Ю., доктор технических наук, профессор, Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полежкова, г. Кемерово, Россия.

Семенова А.А., доктор технических наук, профессор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Россия.

Сибирев А.В., доктор технических наук, профессор, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия.

Третьяк Л.Н., доктор технических наук, доцент, Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия.

Трояновская И.П., доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

Хатко З.Н., доктор технических наук, доцент, Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, Россия.

Чернопольская Н.Л., доктор технических наук, доцент, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск, Россия.

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Баутин В.М., доктор экономических наук, профессор, академик РАН, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Гордеев А.В., доктор экономических наук, профессор, академик РАН, г. Москва, Россия.

Гусаков В.Г., доктор экономических наук, профессор, академик Национальной академии наук, г. Минск, Беларусь.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Бутко Г.П., доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия.

Головина С.Г., доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия.

Кузьменко В.В., доктор экономических наук, профессор, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия.

Пенькова И.В., доктор экономических наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия.

Попова Е.В., доктор экономических наук, профессор, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия.

Рамазанов И.А., доктор экономических наук, доцент, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Москва, Россия.

5 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 406, номер 5, 2026

Volume 406, number 5, 2026

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© journal «Agrarian science»

© authors

Copyright © 2024 This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially, provided the original work is properly cited and states its license.



DOI журнала 10.32634/0869-8155

The journal is included in the list of leading scientific journals and editions peer-reviewed by Higher Attestation Commission (directive of the Ministry of Education and Science № 21-p by 12 February 2019), in the AGRIS database (Agricultural Research Information System) and in the system of Russian index of scientific citing (RSCI).

Full version is available by the link <http://elibrary.ru>

The journal is a member of the Association of science editors and publishers. Each article is assigned a number Digital Object Identifier (DOI).

Founder: Limited liability company "VIC Animal Health"

Senior editor Kostromicheva I.V.
Executive editor Dolgaya M.N.
Design and layout Antonov S.N.
Editor-proofreader Kuznetsova G.M.
Bibliographer Neroznik D.S.
Journalist Sedova Yu.G.
Account Manager Teplova A.S.

Legal address: 107053, Russian Federation, Moscow, Sadovaya Spasskaya, 20

Postal address: 109147, Russian Federation, Moscow, 3 Marxistskaya St., 2 building
Editorial phone +7 (916) 616-05-31
agrovetpress@inbox.ru
Websites: www.vetpress.ru
<https://agrarnayanauka.ru>
Advertising: +7 (927) 155-08-10

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media Certificate PI No. FS 77-76484 dated August 02, 2019. You can subscribe to the journal at any post office.

You can subscribe to the print magazine:

— in the editorial office by phone.

+7 (495) 777-67-67, ext. 1453,

agrovetpress@inbox.ru

— in the subscription agency Ural-Press Okrug

LLC — <https://www.ural-press.ru/catalog/>

Free subscription to the electronic version of the

magazine — <https://agrarnayanauka.ru>

Subscription to archived issues and individual

articles:

— on the website of the Scientific editorial staff

<https://www.vetpress.ru/jour>

— on the website of the Scientific Electronic Library

www.elibrary.ru

The circulation of 2000 copies.

Signed in print 18.05.2026

Release date 26.05.2026

The journal is printed in the printing house of LLC «Poly Print Service», 127015, Moscow, Butyrskaya Street, 86

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

Scientific-theoretical and production journal coming out once a month.

The journal is edited since October 1956, first under the name "Agricultural science's bulletin". Since 1992 the journal is named "Agrarian science".

Publisher:

Autonomous non-commercial organisation "Agrarian science" edition"
107053, Russia, Moscow, st. Sadovaya-Spasskaya, 20.

EDITOR-IN-CHIEF

Violin B.V., Candidate of veterinary science, Leading Researcher of All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant — a branch of the Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia.

Deputy Editor-in-Chief

Rebezov M.B., Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, V.M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

THE EDITORIAL BOARD

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Abbas R.Z., PhD, Associate Professor, University of Agriculture, Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Ansori A.N.M., PhD, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia.

Fisinin V.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research and Technological Institute of Poultry Farming of the Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, Russia.

Javanmard M., Doctor of Veterinary Medicine, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.
Koshchaev A.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

Panin A.N., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.

Podobed L.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Animal Husbandry of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

Usha B.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.

Vasilevich F.I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia.

Yatusevich A.I., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine, Vitebsk, Belarus.

Yuldashbaev Yu.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

Zaits J., Doctor of Veterinary Sciences, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Brno, Brno, Czech Republic.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Abdurasulov A.Kh., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Osh State University, Osh, Kyrgyzstan.

Abilov A.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow Region, Russia.

Aknazarov B.K., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, Bishkek, Kyrgyzstan.

Aliev A.Yu., Doctor of Veterinary Sciences, Caspian Regional Research Veterinary Institute, Makhachkala, Russia.

Andreeva A.V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

Derkho M.A., Doctor of Biological Sciences, Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.

Gorelik O.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.

Gritsenko S.A., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.

Kolesnik E.A., Doctor of Biological Sciences, Federal State University of Education, Moscow, Russia.

Kontsevaya S.Yu., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia.

Kosilov V.I., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia.

Loretts O.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.

Lysenko Yu.A., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

Mironova I.V., Doctor of Biological Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

Nekrasov R.V., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Russia.

Pozyabin S.V., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA by K.I. Skryabin, Moscow, Russia.

Radchikov V.F., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Scientific and Practical Center for Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Belarus, Zhodino, Belarus.

Rustamova S.I., PhD, Veterinary Research Institute under the Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan.

Semenov V.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia.

Shcherbakov P.N., Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.

Sotnikova L.F., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.

Stepanova M.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.

Topuria L.Yu., Doctor of Biological Sciences, Professor, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia.

The journal is designed to advance Russian and world agrarian science, promotes innovative technologies' development. Our main goals consist in supporting young scientists, highlight scientific researches and best agricultural practices.

The scientific concept of the publication involves the publication of modern achievements in the agricultural sector, the results of key national and international studies.

The journal "Agrarian Science" contributes to the generalization of practical achievements in the field of agriculture and improves the scientific and practical qualifications in the area.

Both Russian and foreign authors are invited to publication.

For reprinting of materials the references to the journal are obligatory. The opinions expressed by the authors of published articles may not coincide with those of the editorial team. Advertisers carry responsibility for the content of their advertisements.

AGRONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Ntsomboh-Ntsefong G., PhD, University of Yaoundé I, Yaounde, Cameroon.

Juraev M.Ya., PhD, Associate Professor, Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies, Andijan, Uzbekistan.

Nasiev B.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan.

Thiruvengadam M., PhD, Konkuk University, Seoul, South Korea.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Bunin M.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Central Scientific Agricultural Library, Moscow, Russia.

Dolzhenko T.V., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg state agrarian university, Pushkin, St. Petersburg, Russia.

Dragavtseva I.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Winemaking, Krasnodar, Russia.

Grichanov I.Ya., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, All-Russian Research Institute of Plant Protection, Pushkin, Russia.

Islamgulov D.R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.

Jalilov F.S., Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

Kalmykova E.V., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia.

Kazakhmedov R.E., Doctor of Biological Sciences, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Derbent, Russia.

Nikitin S.N., Doctor of Agricultural Sciences, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev, Ulyanovsk, Russia.

Zeynalov A.S., Doctor of Biological Sciences, Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery, Moscow, Russia.

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Afrasyab Kh., Doctor of Fluid Mechanics and Fluid engineering Machinery, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia.

de Souza K.C., PhD, Blumenau Regional University, Blumenau, Brazil.

Fawzi M.M., PhD, Professor, University of Mauritius, Reduit, Mauritius.

Khan M.U., PhD, Faisalabad Agricultural University, Faisalabad, Pakistan.

Kuznetsova O.A., Doctor of Technical Sciences, V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Mironescu M., Doctor in Industrial Engineering, Professor Eng., University Lucian Blaga of Sibiu, Sibiu, Romania.

Sarkar T., PhD, Malda Polytechnic Institute, Malda, India.

Slozhenkina M.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia.

Smaoui S., PhD, University of Sfax, Sfax, Tunisia.

Zengin G., PhD, Professor, Selcuk University, Seljuk-Konya, Turkey.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Al-Suhaimi S. A., PhD, Professor City of Scientific Research and Technological Applications (SRTA-City) New Borg El-Arab, Alexandria, Egypt

Bagich O.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

Briukhanov A.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agroengineering and Environmental Problems (branch), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russia.

Chernopolskaya N.L., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

Ishevsky A.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia.

Ivanov Yu.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

Kalinina I.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

Khatko Z.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Maikop State Technological University, Maikop, Russia.

Kuznetsova E.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia.

Maksimova S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia.

Mammadov G.B., Doctor of Technical Sciences, Professor Azerbaijan State Agrarian University, Ganja, Azerbaijan.

Reznichenko I.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Kemerovo, Russia

Semenova A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Sibirev A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM, Moscow, Russia.

Suychinov A.K., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.

Tretyak L.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia.

Troyanovskaya I.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.

Yessimbekov Zh.S., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.

Zinina O.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Bautin V.M., Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

Gordeev A.V., Doctor of Economics, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Gusakov V.G., Doctor of Economics, Professor, Academician of the National Academy of Sciences, Minsk, Belarus.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Butko G.P., Doctor of Economics, Professor, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia.

Golovina S.G., Doctor of Economics, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.

Kuzmenko V.V., Doctor of Economics, Professor, North Caucasian Federal University, Stavropol, Russia.

Penkova I.V., Doctor of Economics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia.

Popova E.V., Doctor of Economics, Professor, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

Rakhmetova R.U., Doctor of Economics, Professor, University of Turan, Astana, Kazakhstan.

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Виолин Б.В., Ребезов М.Б., Ребезов Я.М., Горелик О.В., Ансори А.Н.М., Дерхо М.А., Пенькова И.В. Юбилейный год в зеркале наукометрии: анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г.	8
---	---

ВЕТЕРИНАРИЯ

Шабейкин А.А., Гулюкин А.М., Патрикеев В.В. Особенности эпизоотического процесса бешенства в зонах предгорий и гор Северного Кавказа	18
Булаковская О.А., Концевая С.Ю., Алиментарная лимфома кошек как осложнение течения вирусной лейкемии: проспективное исследование 2020–2025 гг.	26
Гриценко С.А., Белооков А.А., Ребезов М.Б., Ермолов С.М., Гриценко М.Д. Зависимость уровня производственной статусности свиней и биохимических показателей крови.	33
Москвитина П.М., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Чубарова А.В., Чубарова М.В., Нефедова А.Ю., Хазиахметова Д.И. Исследование перекисного окисления белков в тканях мозга крыс в условиях стресс-индуцированной депрессии при внутрижелудочной нагрузке экстрактом одуванчика лекарственного	41

ЗООТЕХНИЯ

Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Эйриян Н.А., Шальнев О.В. Продуктивные качества коров голштинской породы в динамике по лактациям	48
Салех Х., Бураков Н.П., Есавкин Ю.И., Шаповалов С.О., Алешин Д.Е., Долгая М.Н. Влияние добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в рацион нильской тиляпии (<i>Oreochromis niloticus</i>) на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани	56
Остренко К.С., Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В. Антиоксидантный статус организма свиней при скармливании комбикормов с мукой из личинок <i>Hermetia illucens</i>	65
Березова К.А., Никанова Д.А., Артемьева О.А., Колодина Е.Н., Довыденкова М.В. Влияние дрожжей <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> на микробиоценоз и продуктивные качества цыплят-бройлеров	72
Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х., Шастин П.Н., Савинов В.А. Моделирование способов ПЦР-ПДРФ-генотипирования крупного рогатого скота по полиморфным маркерам гена <i>CXCR1</i>	81

АГРОНОМИЯ

Чебоचाков Е.Я., Мартынова М.А., Муртаев В.Н. Деградация почв в низкогорном степном районе Республики Хакасия	87
Калмыкова Е.В., Затонская Н.А. Особенности роста листьев и сезонного развития древесных растений в условиях Кулундинской степи	95
Кудрявцева Л.П. Сохранность и контроль за жизнеспособностью коллекционных биообразцов возбудителя антракноза льна	104
Сорокина О.Ю., Кузьменко Н.Н., Ильина В.И. Элементы агротехнологии для новых сортов льна-долгунца в условиях Нечерноземной зоны	110

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Боленченко О.П., Ребезов Я.М. Возможности использования артемии (Обзор, часть 2)	116
Блинов А.В., Серов А.М., Аскерова А.С., Самоволов А.В., Рехман З.А., Ребезов М.Б. Исследование параметров кисломолочного продукта, обогащенного хелатной формой эссенциального микроэлемента железа	129
Блинов А.В., Самоволов А.В., Голик Д.Б., Пирогов М.А., Рехман З.А., Аскерова А.С., Ребезов М.Б. Исследование свойств молока, обогащенного хелатным комплексом цинка с витаминами С и В ₆	138
Низамиев М.Ф., Нургалиев А.Х., Владимиров О.В., Беяков К.Ю. Архитектура Big Data-платформы предиктивной диагностики высоковольтного электрооборудования агропромышленных комплексов на основе анализа виброакустических характеристик	146
Гибатуллин Р.Р., Шакурова З.М. Многоуровневая платформа больших данных для интеллектуального контроля и диагностики параметров агроценозов на основе гибридных методов машинного обучения	153

CONTENTS

EDITOR'S COLUMN

<i>Violin B.V., Rebezov M.B., Rebezov Ya.M., Gorelik O.V., Penkova I.V.</i> The Anniversary Year Through the Lens of Scientometrics: An Analysis of the Publication Activity of the Journal «Agrarian Science» in the First Quarter of 2026	8
--	---

VETERINARY MEDICINE

<i>Shabeykin A.A., Gulyukin A.M., Patrikeev V.V.</i> Features of the epizootic process of rabies in the foothill and mountainous areas of the North Caucasus	18
<i>Bulakovskaya O.A., Kontsevaya S.U.</i> Feline alimentary lymphoma as a complication of viral leukemia: a prospective study from 2020 to 2025	26
<i>Gritsenko S.A., Belookov A.A., Rebezov M.B., Ermolov S.M., Gritsenko M.D.</i> Relationship between production status and blood biochemical parameters in pigs	33
<i>Moskvitina P.M., Pavlova O.N., Gulenko O.N., Chubarova A.V., Chubarova M.V., Nefedova A.Yu., Khaziakhmetova D.I.</i> Study of protein peroxidation in rat brain tissues under conditions of stress-induced depression with intragastric loading of dandelion extract	41

ZOOTECHNICS

<i>Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Eyrian N.A., Shalnev O.V.</i> Productive qualities of Holstein cows in dynamics of lactation	48
<i>Saleh H., Buryakov N.P., Esavkin Yu.I., Shapovalov S.O., Aleshin D.E., Dolgaya M.N.</i> Effects of branched-chain amino acid (BCAA: L-isoleucine, L-valine, L-leucine) supplementation in diets for Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) on chemical composition, energy value, and amino acid profile of muscle tissue	56
<i>Ostrenko K.S., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V.</i> Antioxidant status of pigs fed compound feeds containing <i>Hermetia illucens</i> larvae meal	65
<i>Berezova K.A., Nikanova D.A., Artemyeva O.A., Kolodina E.N., Dovydenkova M.V.</i> Influence of <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> yeast on the microbiocenosis and productive qualities of broiler chickens	72
<i>Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh., Shastin P.N., Savinov V.A.</i> Modeling of methods for PCR-RFLP genotyping of cattle using polymorphic markers of the CXCR1 gene	81

AGRONOMY

<i>Chebochakov E.Y., Martynova M.A., Murtaev V.N.</i> Soil degradation in the foothill steppe zone of the Republic of Khakassia	87
<i>Kalmykova E.V., Zatonskaya N.A.</i> Features of leaf growth and seasonal development of woody plants in the Kulunda steppe	95
<i>Kudryavtseva L.P.</i> Preservation and viability monitoring of collection biospecimens of the flax anthracnose pathogen	104
<i>Sorokina O.Yu., Kuzmenko N.N., Ilyina V.I.</i> Elements of agricultural technology for new varieties of flax in the conditions of the Non-Chernozem zone	110

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Boleshenko O.P., Rebezov Ya.M.</i> Possibilities of using Artemia (Review, Part 2)	116
<i>Blinov A.V., Serov A.M., Askerova A.S., Samovolov A.V., Rekhman Z.A., Rebezov M.B.</i> Study of parameters of fermented milk product enriched with chelate form of essential microelement iron	129
<i>Blinov A.V., Samovolov A.V., Golik D.B., Pirogov M.A., Rekhman Z.A., Askerova A.S., Rebezov M.B.</i> Study of the properties of milk enriched with a chelated complex of zinc with vitamins C and B ₆	138
<i>Nizamiev M.F., Nurgaliev A.Kh., Vladimirov O.V., Belyakov K.Yu.</i> Big Data platform architecture for predictive diagnostics of high-voltage electrical equipment in agro-industrial complexes based on vibroacoustic signal analysis	146
<i>Gibadullin R.R., Shakurova Z.M.</i> A multi-layer big data platform for intelligent monitoring and diagnostics of agrocoenosis parameters based on hybrid machine learning methods	153

УДК: 002.63

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-8-17

Б.В. Виолин¹ ✉

М.Б. Ребезов^{2,3}

Я.М. Ребезов⁴

О.В. Горелик³

А.Н.М. Ансори^{5,6}

М.А. Дерхо⁷

И.В. Пенькова⁸

¹Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ «Всероссийский НИИ экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», Москва, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

⁴Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

⁵Университет Эйрангга, Мульорехо, Индонезия

⁶Университет Уттаранчал, Дехрадун, Индия

⁷Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

⁸Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

✉ agrovetpress@inbox.ru

Поступила в редакцию: 09.03.2026

Одобрена после рецензирования: 11.03.2026

Принята к публикации: 25.03.2026

© Виолин Б.В., Ребезов М.Б., Ребезов Я.М., Горелик О.В., Ансори А.Н.М., Дерхо М.А., Пенькова И.В.

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-8-17

Boris V. Violin¹ ✉

Maksim B. Rebezov^{2,3}

Yaroslav M. Rebezov⁴

Olga V. Gorelik³

Arif N. M. Ansori^{5,6}

Marina A. Derkho⁷

Inessa V. Penkova⁸

¹All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology — a branch of the Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

⁴Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

⁵Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

⁶Uttaranchal University, Dehradun, India

⁷South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

⁸Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

✉ agrovetpress@inbox.ru

Received by the editorial office: 09.03.2026

Accepted in revised: 11.03.2026

Accepted for publication: 25.03.2026

© Violin B.V., Rebezov M.B., Rebezov Ya.M., Gorelik O.V., Ansori A.N.M., Derkho M.A., Penkova I.V.

Юбилейный год в зеркале наукометрии: анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г.

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Оценка библиометрических показателей является унифицированным стандартом измерения качества научных коммуникаций и необходима для стратегического планирования развития периодических изданий. В 2026 г. журнал «Аграрная наука» отмечает 70-летие, что определяет актуальность подведения промежуточных итогов (по кварталам года) его публикационной активности.

Методы. Объектом исследования выступил массив метаданных 46 научных публикаций журнала «Аграрная наука» за первый квартал 2026 г. Анализ проведен с применением проблемно-тематического и системного подходов к изучению состава редколлегии, структуры публикаций, географии и аффилиации авторов, их квалификации, источников финансирования и библиографических списков.

Результаты. Установлено, что в состав редколлегии входят 82 высококвалифицированных специалистов из 20 стран. В отчетном периоде опубликовано 46 работ, 70% из которых — исследовательские статьи. Авторский коллектив представлен 185 исследователями из 57 организаций (47,6% — из образовательных учреждений). Доля авторов с учеными степенями составила 82%. Выявлено преобладание внутрисельских научных коллабораций (20 публикаций) при наличии 6 международных проектов. Среднее количество библиографических ссылок достигло 31,4, что выше показателей предыдущих лет.

Полученные данные подтверждают высокий научный уровень журнала и его роль в развитии аграрной науки.

Ключевые слова: публикационная активность, наукометрический анализ, научный журнал, аграрная наука, авторский коллектив, библиометрия, география авторов, статистический анализ, библиографические ссылки, финансирование исследований, редакционная коллегия

Для цитирования: Виолин Б.В., Ребезов М.Б., Ребезов Я.М., Горелик О.В., Ансори А.Н.М., Дерхо М.А., Пенькова И.В. Юбилейный год в зеркале наукометрии: анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 8–17.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-8-17>

The Anniversary Year Through the Lens of Scientometrics: An Analysis of the Publication Activity of the Journal «Agrarian Science» in the First Quarter of 2026

ABSTRACT

Relevance. Assessing bibliometric indicators is a unified standard for measuring the quality of scholarly communications and is essential for strategic planning of periodical development. In 2026, the journal «Agrarian Science» celebrates its 70th anniversary, making it relevant to summarize its publication activity (by quarter).

Methods. The study focused on a metadata set of 46 scientific publications published in the journal «Agrarian Science» for the first quarter of 2026. The analysis was conducted using a problem-based and systems-based approach to examining the editorial board composition, publication structure, author geography and affiliation, their qualifications, funding sources, and bibliographies.

Results. The editorial board consists of 82 highly qualified specialists from 20 countries. Forty-six papers were published during the reporting period, 70% of which were research articles. The journal's authors included 185 researchers from 57 organizations (47.6% from educational institutions). The proportion of authors with academic degrees was 82%. A predominance of domestic collaborations (20 publications) was identified, along with six international projects. The average number of bibliographic references reached 31.4, exceeding previous years' figures.

These findings confirm the journal's high scientific standard and its role in the development of agricultural science.

Key words: publication activity, scientometric analysis, scientific journal, agricultural science, author group, bibliometrics, author geography, statistical analysis, bibliographic references, research funding, editorial board

For citation: Violin B.V., Rebezov M.B., Rebezov Ya.M., Gorelik O.V., Penkova I.V. The Anniversary Year Through the Lens of Scientometrics: An Analysis of the Publication Activity of the Journal «Agrarian Science» in the First Quarter of 2026. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 8–17 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-8-17>

Введение/Introduction

Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука» отмечает в 2026 г. 70-летие издания (с 1956 г.). Как и для других периодических журналов, для него актуальна оценка библиометрических показателей, являющихся унифицированным стандартом измерения качества научных коммуникаций и востребованности в профессиональном сообществе [1–5]. Наукометрия обеспечивает нормативную базу для экспертизы и стратегического планирования развития журнала [6–10].

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект исследования — публикационная активность ежемесячного научного журнала «Аграрная наука». В нем представлены научные публикации по следующим направлениям: зоотехния и ветеринария, агрономия, агроинженерия и пищевые технологии, региональная и отраслевая экономика.

В разделе «От редактора» представлены аналитические материалы.

Предмет исследования — массив данных журнала, опубликованных в первом квартале 2026 г.

Материалом для исследования были метаданные научных публикаций. Полученные данные анализировались с применением проблемно-тематического и системного анализа.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Редакционная коллегия журнала «Аграрная наука» осуществляет научно-методологическую экспертизу рукописей, координирует процесс рецензирования и формирует стратегическую редакционную политику, что обеспечивает строгое соответствие публикуемых материалов международным стандартам качества и публикационной этики [11, 12].

В состав редколлегии журнала входят 57 специалистов из Российской Федерации и 25 представителей зарубежного научного сообщества, что в совокупности составляет 82 члена, распределение членов редакционной коллегии журнала «Аграрная наука» по научным разделам и странам представлено в табл. 1.

В первом квартале 2026 года в журнале опубликовано 46 научных работ, из них 32 исследовательские статьи, 6 научных обзоров и 8 кратких сообщений.

Распределение публикаций (исследовательские статьи, научные обзоры и краткие сообщения) по номерам журнала за первый квартал 2026 г. представлено на рис. 1.

Процентное соотношение количества опубликованных исследований в 2025 г. по данному разделу представлено на рис. 2.

Табл. 1. Распределение членов редакционной коллегии журнала «Аграрная наука» по научным разделам и странам.

Table 1. Distribution of editorial board members of the journal "Agrarian Science" by subsection and country

Страна	Кол-во членов редколлегии по научным направлениям			
	Зоотехния и ветеринария	Агрономия	Агроинженерия и пищевые технологии	Региональная и отраслевая экономика
Россия	26	9	16	8
Азербайджан	1	–	–	–
Беларусь	2	–	–	1
Бразилия	–	–	1	–
Египет	–	–	1	–
Индия	–	–	1	–
Индонезия	1	–	–	–
Иран	1	–	–	–
Казахстан	–	–	1	–
Камерун	–	1	–	–
Кыргызстан	2	–	–	–
Маврикий	–	–	1	–
Малайзия	–	–	2	–
Пакистан	1	–	1	–
Румыния	–	–	1	–
Тунис	–	–	1	–
Турция	–	–	1	–
Узбекистан	–	1	–	–
Украина	1	–	–	–
Чехия	1	–	–	–
Южная Корея	–	1	–	–

Рис. 1. Распределение публикаций по номерам (томам) и типам научной продукции журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 года

Fig. 1. Distribution of publications by numbers (volumes) and types of scientific products of the journal "Agrarian Science" in the first quarter of 2026

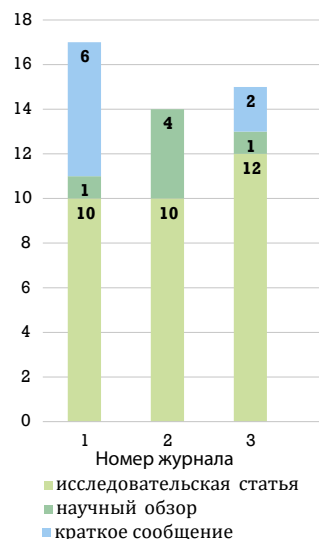
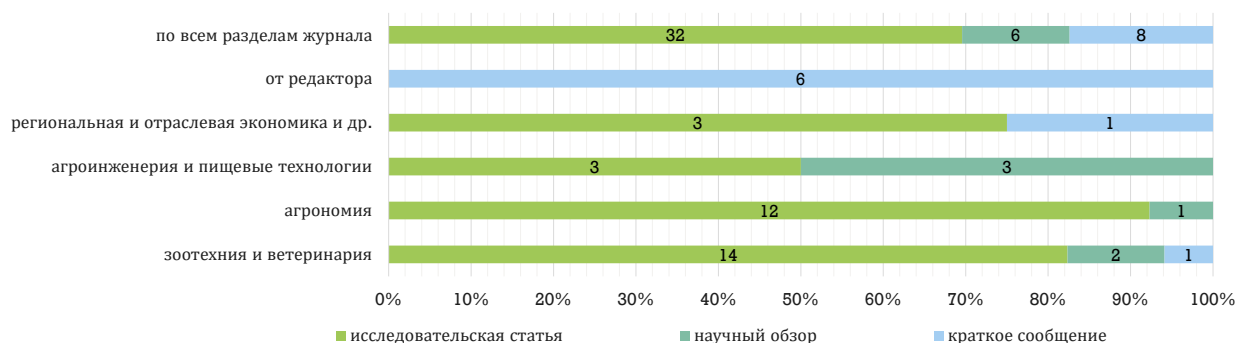


Рис. 2. Процентное соотношение количества опубликованных исследовательских статей, научных обзоров и кратких сообщений по разделам журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 года

Fig. 2. Percentage of published research articles, scientific reviews and short communications by sections of the journal "Agrarian Science" in the first quarter of 2026



В первом квартале 2026 года по всем разделам журнала опубликовано 70% исследовательских статей от общего количества научных трудов. Наибольшее количество единиц научной продукции — 17 — опубликовано в разделе «Зоотехния и ветеринария», из них статей — 82%.

Все научные труды в журнале опубликованы на русском языке.

Распределение научных публикаций в журнале по количеству соавторов в одной единице публикации за первый квартал 2026 г представлено на рис. 3

В 26,08% опубликованных научных трудах изучаемого раздела журнала было 4 соавтора, 5 соавторов — в 23,91%. Отмечаем, что максимальное количество — 9 соавторов — было только в одной публикации или 2,17% из 46 единиц научной продукции.

185 авторов из научных, образовательных и других организаций опубликовали результаты научных исследований в первом квартале

ежемесячного журнала «Аграрная наука» в 2026 г.

Процентное соотношение авторов научных публикаций по профилю деятельности организации представлено на рис. 4.

Наибольшее количество авторов — 88 или 47,57% — опубликовавшие научные исследования в 2025 г на страницах изучаемого раздела журнала, аффилированы с образовательными учреждениями. Наибольшее количество — 68 авторов — опубликовали свои научные труды в разделе «Зоотехния и ветеринария».

Существенным фактором повышения результативности научной деятельности является поддержка сложившихся научных школ как центров генерации новых идей. Развитие научных коллабораций между различными учреждениями расширяет горизонты исследований, обеспечивает критическую массу компетенций и усиливает конкурентные позиции науки в глобальном академическом пространстве. Ребезов М.Б. и др.

Рис. 3. Распределение научных публикаций по количеству соавторов в первом квартале 2026 года журнала «Аграрная наука»

Fig. 3. Distribution of scientific publications by the number of co-authors in the first quarter of 2026 of the journal "Agrarian Science"

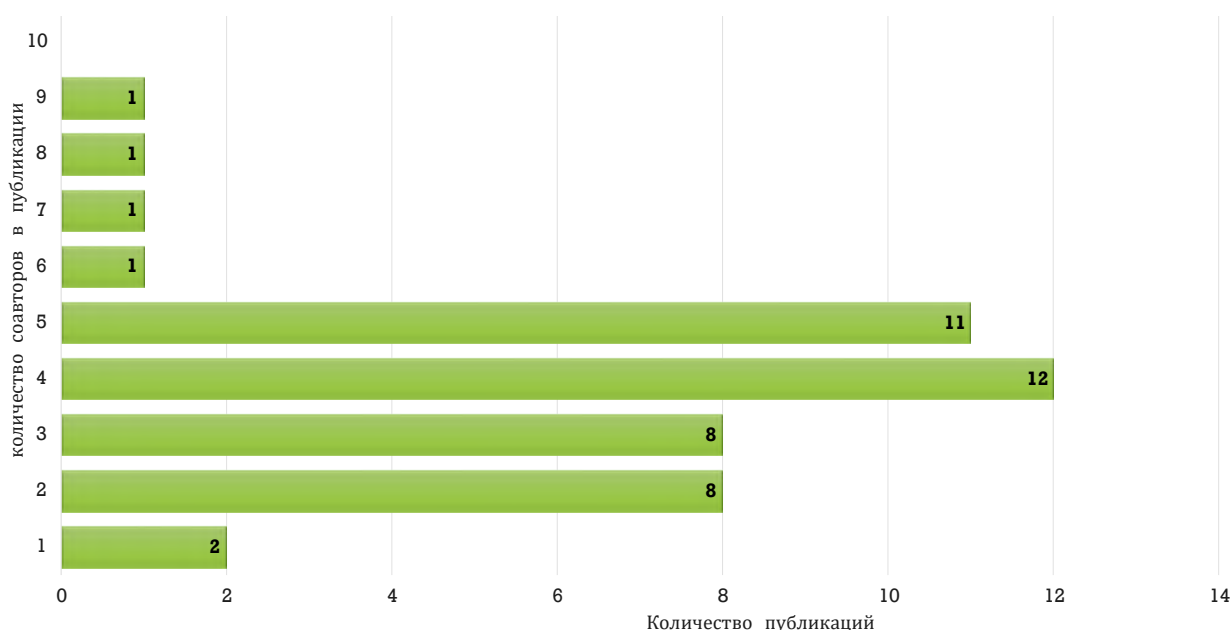


Рис. 4. Процентное соотношение авторов научных публикаций по профилю деятельности организации соавторов в первом квартале 2026 года журнала «Аграрная наука»

Fig. 4. The percentage of authors of scientific publications by the profile of the organization's activities of co-authors in the first quarter of 2026 of the journal "Agrarian Science"

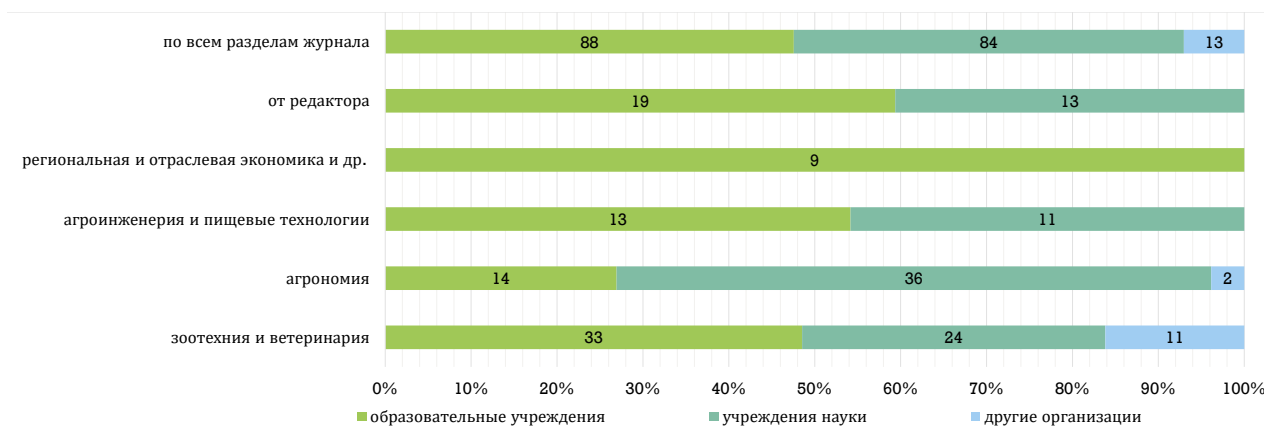
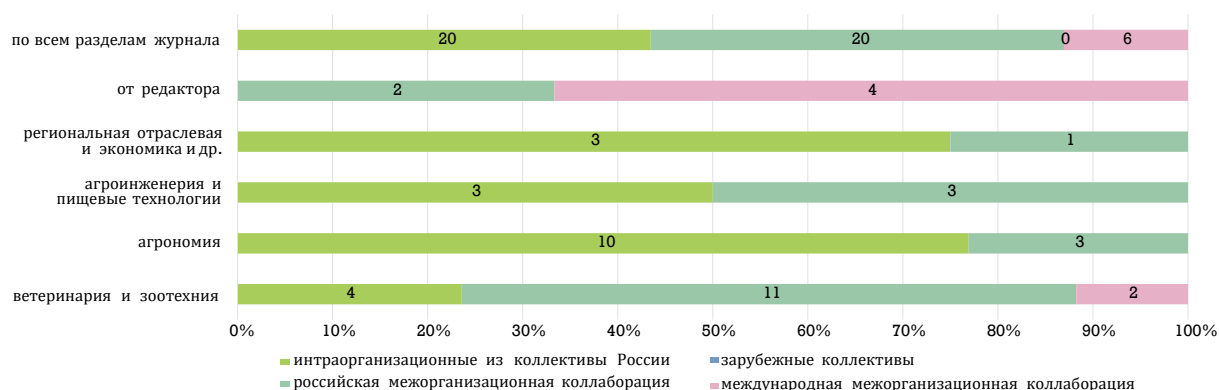


Рис. 5. Распределение по количеству публикаций, учитывая типы научных коллективов в первом квартале 2026 года по разделам журнала «Аграрная наука»

Fig. 5. Distribution by number of publications, taking into account the types of research teams in the first quarter of 2026 by sections of the journal "Agrarian Science"



предложили использовать термин «интраорганизационный», если место работы авторов — в одной российской организации [13].

Распределение по количеству публикаций, учитывая типы научных коллективов в первом квартале 2026 года журнала «Аграрная наука» представлено на рис. 5.

В отчетном периоде (I квартал 2026 г.) в журнале «Аграрная наука» опубликован 21 материал, авторами которых выступили интраорганизационные исследовательские группы. Межинституциональное взаимодействие внутри РФ реализовано в 20 научных трудах. Международное измерение научной деятельности представлено 6 публикациями, подготовленными в ходе совместных исследований с зарубежными партнерами.

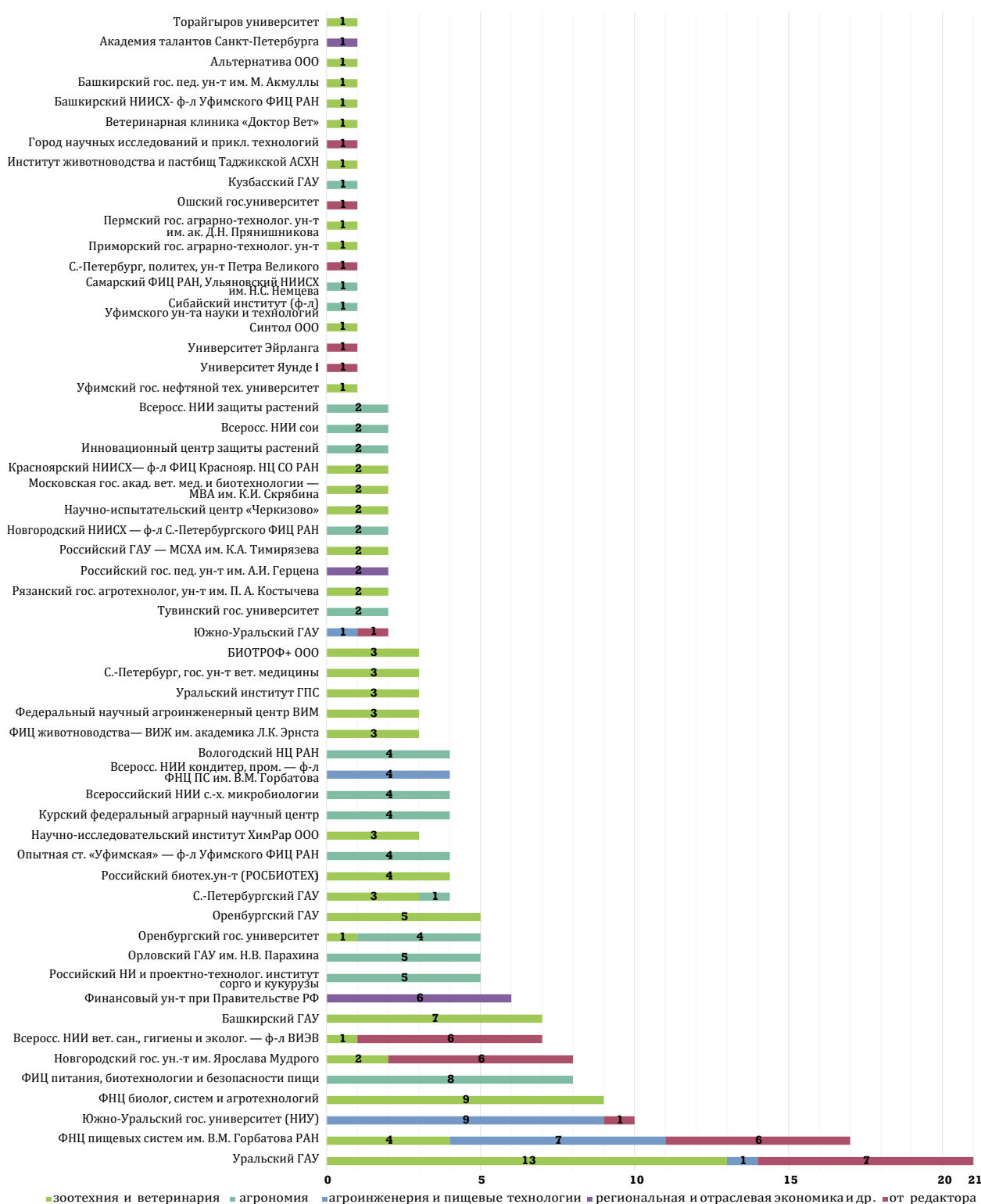
Расширение географии авторского коллектива подтверждается участием ученых из Казахстана и Таджикистана в разделе журнала «Зоотехния и ветеринария», а также привлечением членов редколлегии журнала из России Египта, Индонезии, Камеруна и Кыргызстана к формированию аналитических материалов в разделе «От редактора».

Распределение 185 авторов из 57 организаций и учреждений, а с учетом нескольких аффилиации их 202, по разделам журнала «Аграрная наука» за первый квартал 2026 г. представлено на рис. 6.

Авторский состав журнала «Аграрная наука» за первый квартал 2026 г. отличается широкой географией: в нем представлены исследователи из 57 организаций, включая ведущие аграрные вузы, научные центры Российской академии наук и отраслевые НИИ. Наибольшее число авторов представлено Уральским ГАУ (21), ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН (17), Южно-Уральским государственным университетом (10), а также в ФНЦ биологических систем и агротехнологий, Башкирского ГАУ, ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи (от 8 до 9 авторов в каждом). Международная кооперация отражена участием авторов из Камеруна (Университет Яунде I), Индонезии (Университет Эйрланга), Таджикистана (Институт животноводства и пастбищ Таджикской АСХН), Кыргызстана (Ошский государственный университет) и Казахстана (Торайгыров университет), которые представлены в рубриках «Зоотехния и ветеринария» и «От редактора».

Рис. 6. Распределение авторов по организациям (учреждениям), с учетом нескольких аффилиации по разделам журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г.

Fig. 6. Distribution of authors by organizations (institutions), taking into account several affiliations by sections of the journal “Agrarian Science” in the first quarter of 2026.



По разделам журнала авторский вклад организаций распределен следующим образом:

– «Зоотехния и ветеринария»: доминируют авторы ФНЦ биологических систем и агротехнологий (9), Башкирского ГАУ (7), Оренбургского ГАУ (5), а также представлены специалисты из ряда НИИ и вузов (ВИЖ, ВИМ, СПбГУВМ, РОСБИОТЕХ, БИОТРОФ+, Уральский ГАУ и др.);

– «Агрономия»: ведущие позиции занимают авторы, ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи (8), РОССОРГО (5), Орловского ГАУ (5), а также сотрудники ряда опытных станций и институтов (Оренбургский ГАУ, Опытная станция «Уфимская» УФИЦ РАН, Курский федеральный аграрный НЦ, ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Вологодский НЦ РАН и др.);

– «Агроинженерия и пищевые технологии»: основной вклад внесен авторами Южно-Уральского государственного университета (9), ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН (7) и его филиала — ВНИИ кондитерской промышленности (4);

– «Региональная и отраслевая экономика и др.»: наиболее активны авторы Финансового университета при Правительстве РФ (6), а также представлены специалисты РГПУ им. А.И. Герцена и др.;

– «От редактора»: в подготовке материалов участвовали авторы Уральского ГАУ (7), Всероссийского научно-НИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиала «ФНЦ — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук» (6), ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН (6), Новгородского ГУ имени Ярослава Мудрого (6), а также зарубежные ученые (члены редакционной коллегии журнала) из Камеруна, Индонезии, Кыргызстана и Египта.

Интересно географическое распределение авторов, с учетом нескольких аффилиации, по зарубежным странам (табл. 3) и субъектам Российской Федерации (табл. 4) в журнале «Аграрная наука» за первый квартал 2026 г.

Наибольшее количество авторов, с учетом нескольких аффилиации, опубликовавших свои исследования, представляют учреждения и организации, юридически зарегистрированные в Москве (53); Свердловской области (24), Санкт-Петербурге (22).

Библиометрический анализ научных периодических изданий предполагает исследование характеристик авторского коллектива [14–17]. Изучение распределения авторов по уровню квалификации (ученым степеням и званиям) позволяет определить специфику кадрового состава, формирующего содержание журнала «Аграрная наука». Результаты проведенного анализа свидетельствуют о том, что в качественной структуре авторов доминируют исследователи, имеющие ученые степени (суммарная доля докторов и кандидатов наук достигает 82%). Наряду с высокой квалификацией основного авторского ядра, представленного в том числе членами академий, в публикационной деятельности участвуют аспиранты и студенты. Указанное сочетание обеспечивает не только высокий научный уровень журнала, но и способствует воспроизводству кадрового потенциала аграрной науки.

В разделе «Зоотехния и ветеринария», аккумулировавшем наибольшее число авторов, наблюдается сбалансированное представительство всех категорий. Представлены исследования, над которыми трудились 2 академика, 23 доктора наук, 37 кандидатов наук, 6 специалистов, 3 аспиранта и 3 студента. Это говорит о сложившейся научной школе с активным привлечением молодежи к исследованиям.

Табл. 3. Распределение авторов по зарубежным странам, с учетом нескольких аффилиации, опубликовавших научные труды в первом квартале 2026 г. в журнале «Аграрная наука»

Table 3. Distribution of authors by foreign countries, taking into account several affiliations, who published scientific papers in the first quarter of 2026 of the journal "Agrarian Science"

Страна	Кол-во авторов
 Египет	1
 Индонезия	1
 Казахстан	1
 Камерун	1
 Кыргызстан	1
 Таджикистан	1

Табл. 4. Географическое распределение авторов (с учетом нескольких аффилиации) по субъектам Российской Федерации, опубликовавших научные труды по разделам журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г.

Table 4. Geographical distribution of authors (taking into account multiple affiliations) by constituent entities of the Russian Federation who published scientific papers in sections of the journal "Agrarian Science" in the first quarter of 2026.

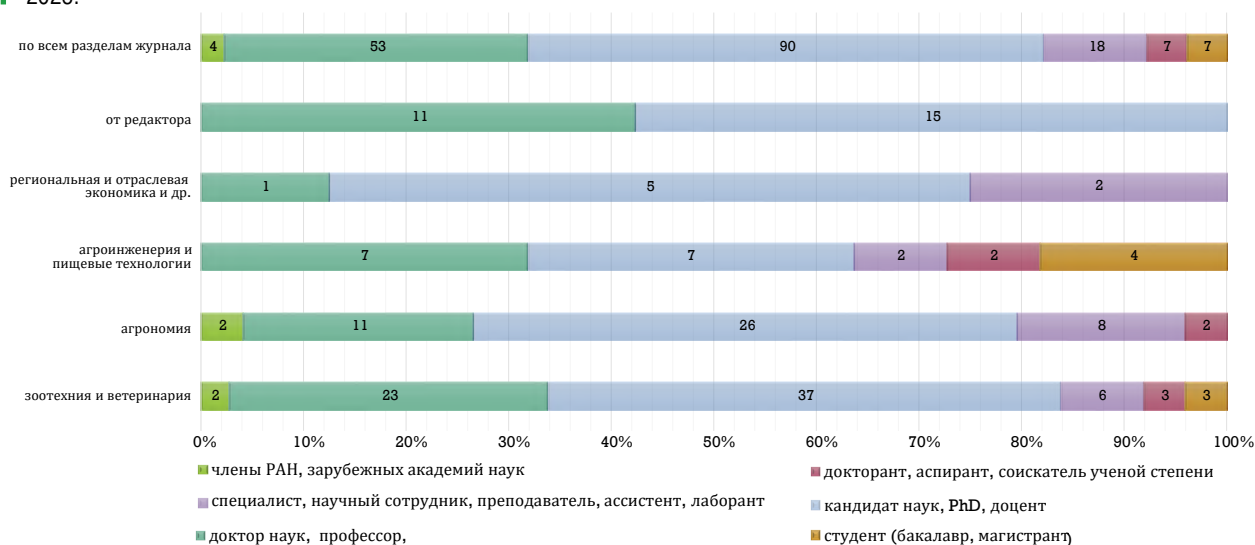
Субъект Российской Федерации	Кол-во авторов
 Москва	53
 Свердловская обл.	24
 Санкт-Петербург	22
 Оренбургская обл.	19
 Республика Башкортостан	14
 Челябинская обл.	12
 Новгородская обл.	10
 Орловская обл.	5
 Саратовская обл.	5
 Вологодская обл.	4
 Курская область	4
 Московская обл.	4
 Рязанская обл.	3
 Амурская обл.	2
 Красноярский край	2
 Республика Тыва	2
 Кемеровская обл. — Кузбасс	1
 Пермский край	1

В разделе «Агрономия» также высок уровень квалификации: 2 академика, 11 докторов и 26 кандидатов наук составляют основу авторских коллективов. Участие в исследованиях 8 специалистов и 2 аспирантов дополняет картину кадрового обеспечения отрасли.

Раздел «Агроинженерия и пищевые технологии» характеризуется равным числом докторов и кандидатов наук (по 7 человек), а также заметным участием студентов (4) и аспирантов (2), что

Рис. 7. Авторский профиль по ученым степеням и научным званиям по разделам журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г.

Fig. 7. Author profile by academic degrees and scientific titles in the sections of the journal “Agrarian Science” in the first quarter of 2026.



отражает интеграцию образования и науки в инженерных специальностях.

В разделе «Региональная и отраслевая экономика и др.» основная нагрузка ложится на кандидатов наук (5) и докторов наук (1), при участии 2 специалистов.

Раздел «От редактора» формируется исключительно высококвалифицированными авторами (в основном членами редакционной коллегии журнала «Аграрная наука»): 11 докторов наук и 15 кандидатов наук (PhD), что соответствует статусу редакционных материалов.

Финансовое обеспечение научных исследований выступает значимым фактором, мотивирующим авторов к публикации результатов в авторитетных научных изданиях [18–21].

В журнале «Аграрная наука» анализ распределения публикаций по источникам финансирования показал, что наибольшее число статей (20)

подготовлено за счет инициативных средств самих соавторов. Публикации, выполненные в рамках государственного задания или при поддержке средств учреждений, составили 18 работ, а грантовое финансирование обеспечило выход 8 научных материалов (рис. 8).

Распределение по разделам свидетельствует о дифференциации источников в зависимости от направления исследований. В рубрике «Зоотехния и ветеринария» преобладают инициативные разработки (8 статей), при этом 4 работы выполнены при грантовой поддержке и 5 — в рамках госзадания. В разделе «Агрономия» доминируют публикации по государственному заданию (7), тогда как инициативные и грантовые работы представлены тремя статьями каждая. В разделе «Агроинженерия и пищевые технологии» все три источника представлены примерно равным числом публикаций (1, 3 и 2 соответственно). В рубрике

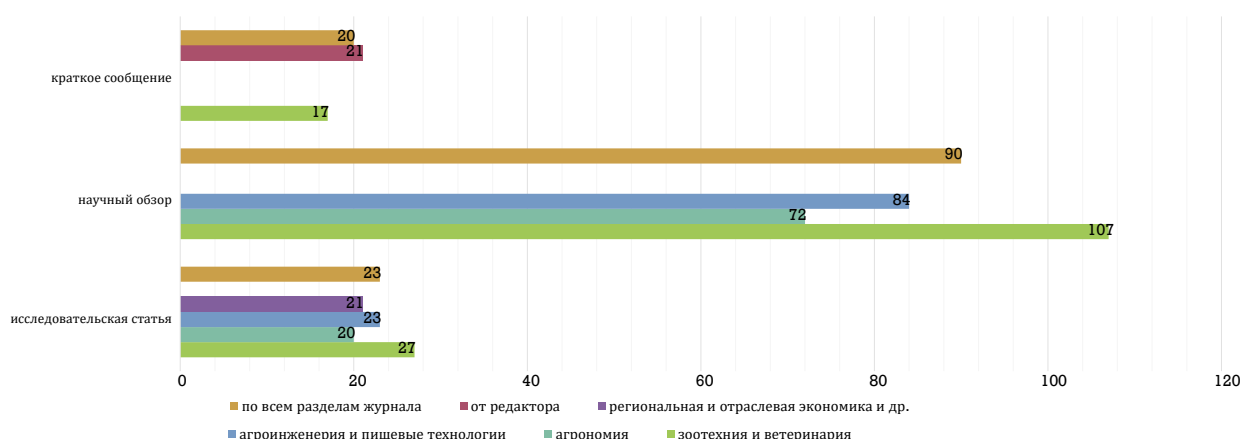
Рис. 8. Источники финансирования научных исследований по разделам журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г.

Fig. 8. Sources of funding for scientific research in the sections of the journal “Agrarian Science” in the first quarter of 2026.



Рис. 9. Среднее количество использованных библиографических ссылок в научных публикациях по разделам журнала «Аграрная наука» в первом квартале 2026 г.

Fig. 9. Average number of bibliographic references used in scientific publications by sections of the journal "Agrarian Science" in the first quarter of 2026.



«Региональная и отраслевая экономика и др.» три статьи профинансированы из средств госзадания и одна — инициативно. Материалы раздела «От редактора» (6 публикаций) подготовлены исключительно за счет инициативных средств соавторов, что соответствует редакционному формату.

Грантовые механизмы, несмотря на меньшую долю в общем объеме, выполняют важную функцию, предоставляя исследователям свободу выбора направлений и возможность сосредоточиться на достижении инновационных результатов, свободных от коммерческой конъюнктуры. Совокупность различных источников финансирования создает основу для устойчивого развития аграрной науки, способствуя интеграции исследований в инновационную экономику и повышению международной конкурентоспособности российских разработок.

Список использованной литературы является неотъемлемым структурным компонентом научной публикации [22–24]. Выполняя источниковедческую функцию, он обеспечивает возможность верификации представленных данных и свидетельствует о достоверности полученных научных результатов. Объем и полнота списка служат индикатором глубины проработки темы и отражают степень вовлеченности исследования в актуальный научный контекст.

31,39 — среднее количество использованных библиографических ссылок в научных публикациях журнала «Аграрная наука» за первый квартал 2026 г.

Среднее количество использованных библиографических ссылок в исследовательских статьях (23), научных обзорах (90) и кратких сообщениях (20) представлено графически на рис. 9.

Анализ показывает заметный прирост числа источников информации, привлекаемых авторами научных статей, по сравнению с предыдущими периодами (2020–2024 гг.), что свидетельствует о расширении базы научной информации и повышении качества проводимых научных исследований.

Выводы/Conclusions

Проведенный наукометрический анализ журнала «Аграрная наука» за первый квартал 2026 г. позволяет сделать следующие выводы:

- журнал демонстрирует устойчивые позиции как открытая площадка для коммуникации научного сообщества: 70% публикаций составляют оригинальные исследовательские статьи;
- высокий научный уровень издания подтверждается качественным составом авторов (82% имеют ученые степени) и широкой географией (представлены 57 организаций из зарубежных стран и 19 регионов РФ). Доминирование авторов из образовательных учреждений (47,6%) указывает на интеграцию журнала в процесс подготовки научных кадров высшей квалификации;
- анализ источников финансирования (43,5% статей подготовлено за счет инициативных средств исследователей, 39,1% — в рамках государственных заданий) и роста среднего количества библиографических ссылок (до 31,4) свидетельствует о повышении качества проработки тем и вовлеченности исследований в актуальный научный контекст.

Полученные данные подчеркивают значимость регулярного наукометрического мониторинга для оценки динамики развития журнала «Аграрная наука», выявления точек роста и укрепления его позиций в международном академическом пространстве.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тодосийчук А.В. Наукометрические показатели в системе оценки результативности науки и научного труда. *Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы*. 2024; (3): 1–7. <https://doi.org/10.36535/0548-0019-2024-03-1>
2. Vasudevan B., Chatterjee M., Sharma V., Sahdev R. Indexing of Journals and Indices of Publications. *Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2025; 35(S1): S148–S154. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1800878>
3. Бескараванная Е.В. Как с водой не выплеснуть ребенка... О подходах к оценке эффективности. *Научные и технические библиотеки*. 2024; (4): 68–85. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2024-4-68-85>
4. Чавыкин Ю.И. Оценка российских научных журналов по сельскому хозяйству. *Научные и технические библиотеки*. 2024; (7): 26–39. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2024-7-26-39>
5. Непочатых А.Ю., Тимофеевская С.А. Библиометрический анализ научных публикаций на веб-сайтах аграрных учреждений высшего и дополнительного образования Российской Федерации. *Аграрная наука*. 2024; (9): 152–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-152-159>
6. Ермаков А.В. Аналитическая статистика о научных публикациях казанского федерального университета на Scilit. *Электронные библиотеки*. 2024; 27(6): 878–896. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2024-27-6-878-896>
7. Цветкова В.А., Мохначева Ю.В. Научная среда и публикационная активность: риски библиометрических оценок. *Культура: теория и практика*. 2020; (2): 11. EDN DOOOFr
8. Степанова Н.А. Библиометрические инструменты оценки публикационной активности вуза. *Библиография и книговедение*. 2025; (5): 103–114. <https://doi.org/10.25281/2411-2305-2025-5-103-114>
9. Егоров Н.Е. Оценка публикационной активности ведущих университетов России. *Управление наукой и наукометрия*. 2025; 20(1): 12–25. EDN LYZJRB
10. Мазов Н.А., Гуреев В.Н. Перспективы наукометрической оценки научно-популярных периодических изданий. *Библиосфера*. 2025; (2): 41–53. <https://doi.org/10.20913/1815-3186-2025-2-41-53>
11. Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М., Пенкова И.В. Региональная и отраслевая экономика: анализ публикаций по разделу журнала за 2025 г. *Аграрная наука*. 2026; (1): 43–50. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-43-50>
12. Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М. Публикационная активность в инфографике (часть 7-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 и 2024 гг.). *Аграрная наука*. 2025; (12): 8–15. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15>
13. Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М., Горелик О.В., Абдурасулов А.Х. Зоотехния: анализ публикаций по разделу журнала за 2025 г. *Аграрная наука*. 2026; (1): 18–26. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-18-26>
14. Косяков Д.В., Селиванова И.В., Лаврик О.Л. Наукометрия журнала «Библиосфера»: анализ тенденций и перспектив развития. *Библиосфера*. 2020; (3): 3–13. <https://doi.org/10.20913/13/1815-3186-2020-3-3-13>
15. Маршак Шайкевич И.В. Библиометрический анализ научных журналов. *Социология науки и технологий*. 2014; 5(3): 38–48. EDN SOASKT
16. Образцов И.В., Половнев А.В. В поисках баланса: авторский состав журнала «Социологические исследования» (2014–2023). *Социологические исследования*. 2024; (7): 146–158. <https://doi.org/10.31857/S0132162524070139>
17. Баканова Н.Б. Анализ данных публикационной активности для исследования направлений научного сотрудничества организации. *Научные и технические библиотеки*. 2024; (11): 31–47. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2024-11-31-47>
18. Куликовский А.П., Зайцев А.Г., Голиков И.О. Использование методов грантового финансирования проектов АПК в современных условиях. *Вестник аграрной науки*. 2022; (3): 107–113. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.3.107>
19. Сафиуллин М.Р., Гатауллина А.А., Зяббарова А.А. Поддержка науки как фактор репутационного развития стран (на примере России и ряда зарубежных регионов). *Российский экономический журнал*. 2024; (3): 18–37. EDN ULAGFP

REFERENCES

1. Todosiychuk A.V. Scientometric Indicators in the System of Evaluating Scientific Performance and Work. *Scientific and Technical Information Processing*. 2024; 51(2): 154–160. <https://doi.org/10.3103/S0147688224700084>
2. Vasudevan B., Chatterjee M., Sharma V., Sahdev R. Indexing of Journals and Indices of Publications. *Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2025; 35(S1): S148–S154. <https://doi.org/10.1055/s-0044-1800878>
3. Beskaravainaya E.V. Not to throw the baby out with the bath water... On the approach to assessing research output. *Scientific and Technical Libraries*. 2024; (4): 68–85 (in Russian). <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2024-4-68-85>
4. Chavykin Yu.I. Assessing Russian scientific journals in agriculture. *Scientific and Technical Libraries*. 2024; (7): 26–39 (in Russian). <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2024-7-26-39>
5. Nepochatykh A.Yu., Timofeevskaya S.A. Bibliometric analysis of scientific publications on the websites of agricultural institutions of higher and additional education of the Russian Federation. *Agrarian science*. 2024; (9): 152–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-152-159>
6. Ermakov A.V. Analytical Statistics on Scientific Publications of the Kazan Federal University on Scilit. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*. 2024; 58(S6): S343–S351. <https://doi.org/10.3103/S0005105525700438>
7. Tsvetkova V.A., Mokhnacheva Yu.V. Scientific environment and publication activity: risks of bibliometric estimates. *Kul'tura: teoriya i praktika*. 2020; (2): 11 (in Russian). EDN DOOOFr
8. Stepanova N.A. Bibliometric Tools for Assessing the Publication Activity of Higher School. *Bibliography and Bibliology*. 2025; (5): 103–114 (in Russian). <https://doi.org/10.25281/2411-2305-2025-5-103-114>
9. Egorov N.E. Evaluation of the publication activity of the leading universities in Russia. *Science Governance and Scientometrics*. 2025; 20(1): 12–25 (in Russian). EDN LYZJRB
10. Mazov N.A., Gureyev V.N. Perspectives of Scientometric Evaluation of Popular Scientific Journals. *Bibliosphere*. 2025; (2): 41–53 (in Russian). <https://doi.org/10.20913/1815-3186-2025-2-41-53>
11. Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M., Penkova I.V. Regional and sectoral economy: analysis of publications by journal section for 2025. *Agrarian science*. 2026; (1): 43–50 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-43-50>
12. Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M. Publication Activity in infographics (Part 7): A Comparative Analysis over a Two-Year Period (2023 and 2024). *Agrarian science*. 2025; (12): 8–15 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15>
13. Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M., Gorelik O.V., Abdurasulov A.Kh. Animal science: analysis of publications in the journal section for 2025. *Agrarian science*. 2026; (1): 18–26 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-18-26>
14. Kosyakov D.V., Selivanova I.V., Lavrik O.L. The Scientometrics of Journal “Bibliosphere”: analysis of tendencies and future development. *Bibliosphere*. 2020; (3): 3–13 (in Russian). <https://doi.org/10.20913/13/1815-3186-2020-3-3-13>
15. Marshakova-Shaikovich I.V. Bibliometric analyses of scientific journals. *Sociology of Science and Technology*. 2014; 5(3): 38–48 (in Russian). EDN SOASKT
16. Obratsov I.V., Polovnyov A.V. In search for a balance: the authorship structure of the journal “Sotsiologicheskie issledovaniya” [Sociological Studies] (2014–2023). *Sociological Studies*. 2024; (7): 146–158 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0132162524070139>
17. Bakanova N.B. Analyzing publication activity to explore vectors of institutional scientific cooperation. *Scientific and Technical Libraries*. 2024; (11): 31–47 (in Russian). <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2024-11-31-47>
18. Kulikovskiy A.P., Zaitsev A.G., Golikov I.O. Using methods of grant financing of AIC projects in modern conditions. *Bulletin of agrarian science*. 2022; (3): 107–113 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.3.107>
19. Safiullin M.R., Gataullina A.A., Zyabbarova A.A. Science support as a factor of the countries reputation (example of Russia and foreign regions). *Russian Economic Journal*. 2024; (3): 18–37 (in Russian). EDN ULAGFP

20. Нечаев В.И., Михайлушкин П.В. Меры государственной поддержки институтов инновационного развития в аграрном секторе экономики России: проблемы и способы контроля. *Экономика сельского хозяйства России*. 2025; (4): 2–13. <https://doi.org/10.32651/254-2>
21. Рожков И.В., Русин В.Н., Захаренко И.К., Солдатова Н.Ф. К вопросу оценки финансирования научных исследований в области сельского хозяйства за счет бюджетных средств. *Аграрная наука*. 2025; (1): 173–177. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-173-177>
22. Янонис О. О библиографическом методе. *Кныготыра*. 1988; 21(14-2): 101–104. <https://doi.org/10.15388/knygotyra.1988.36580>
23. Боряев А.А. Принципы, методы, алгоритмы интеллектуальной системы библиографического поиска. *Научные и технические библиотеки*. 2025; (5): 81–103. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-5-81-103>
24. Hjørland B. Bibliography (Field of Study). *Knowledge Organization*. 2024; 51(8): 700–711. <https://doi.org/10.5771/0943-7444-2024-8-700>

ОБ АВТОРАХ

Борис Викторович Виолин¹

кандидат ветеринарных наук
agrovetpress@inbox.ru

Максим Борисович Ребезов^{2,3}

• доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник²

• доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³
rebezov@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Ярослав Максимович Ребезов⁴

кандидат биологических наук, научный сотрудник; сектор прикладной биотехнологии; Учебно-научная исследовательская лаборатория химико-технологического института
yaroslavreb@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

Ольга Васильевна Горелик³

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов
olgao205en@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Ариф Нур Мухаммад Ансори^{5,6}

• PhD, научный сотрудник, Департамент аспирантуры⁵

• PhD, адъюнкт-преподаватель, институт

фармацевтических наук⁶

ansori.anm@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1279-3904>

Марина Аркадьевна Дерkho⁷

доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественно-научных дисциплин, Институт ветеринарной медицины
derkho2010@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

Инесса Вячеславовна Пенкова⁸

доктор экономических наук, профессор, доцент кафедры экономической теории, Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли
penkova_iv@spbstu.ru

¹Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», Звенигородское шоссе, 5, Москва, 123022, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

⁴Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, ул. Большая Санкт-Петербургская, 41, Великий Новгород, 173003, Россия

⁵Университет Эйрлангга RQJM+528, Мульторежо, Сурабая, Ява Тимур, 60115, Индонезия

⁶Uttaranchal University, Ул. Чакрата, Премнагар, Дехрадун, 248007, Индия

⁷Южно-Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Гагарина, 13, Троицк, 457100, Россия

⁸Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия

20. Nechaev V.I., Mikhailushkin P.V. Measures of state support for innovative development institutions in the agricultural sector of the Russian economy: problems and methods of control. *Economics of Agriculture of Russia*. 2025; (4): 2–13 (in Russian). <https://doi.org/10.32651/254-2>

21. Rozhkov I.V., Rusin V.N., Zakharenko I.K., Soldatova N.F. On the issue of assessing the financing of scientific research in the field of agriculture at the expense of budgetary funds. *Agrarian science*. 2025; (1): 173–177 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-173-177>

22. Janonis O. The bibliographical method. *Knygotyra*. 1988; 21(14-2): 101–104 (in Russian). <https://doi.org/10.15388/knygotyra.1988.36580>

23. Boryaev A.A. The principles, methods and algorithms for bibliographic search intelligence system design. *Scientific and Technical Libraries*. 2025; (5): 81–103 (in Russian). <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-5-81-103>

24. Hjørland B. Bibliography (Field of Study). *Knowledge Organization*. 2024; 51(8): 700–711. <https://doi.org/10.5771/0943-7444-2024-8-700>

ABOUT THE AUTHORS

Boris Viktorovich Violin¹

Candidate of veterinary sciences
agrovetpress@inbox.ru

Maksim Borisovich Rebezov^{2,3}

• Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher²

• Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³
rebezov@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Yaroslav Maksimovich Rebezov⁴

Candidate of biological sciences, Research Fellow, Applied Biotechnology Sector; Educational and Scientific Research Laboratory of the Institute of Chemical Technology
yaroslavreb@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

Olga Vasilyevna Gorelik³

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products
olgao205en@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Arif Nur Muhammad Ansori^{5,6}

• PhD, Researcher, Postgraduate School⁵

• PhD, Adjunct Faculty Member, Institute of Pharmaceutical Sciences⁶

ansori.anm@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-1279-3904>

Marina Arkadyevna Derkho⁷

Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Natural Sciences, Institute of Veterinary Medicine
derkho2010@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3818-0556>

Inessa Vyacheslavovna Penkova⁸

Doctor of Economics, Professor, Associate Professor of the Department of Economic Theory, Institute of Industrial Management, Economics and Trade
penkova_iv@spbstu.ru

¹All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology — a branch of the of the Federal Scientific Centre VIEV, 5 Zvenigorodskoe shosse, Moscow, 123022, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia

⁴Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, 41 Bolshaya Sankt-Peterburgskaya st., Veliky Novgorod, 173003, Russia

⁵Universitas Airlangga RQJM+528 Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur, 60115, Indonesia

⁶Uttaranchal University, Chakrata Rd, Prem Nagar, Dehradun, Uttarakhand, 248007, India

⁷South Ural State Agrarian University, 13 Gagarin st., Troitsk, 457100, Russia

⁸Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politekhicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russia

УДК 636.4.082.265

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-18-25

А.А. Шабейкин ✉

А.М. Гулюкин

В.В. Патрикеев

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук, Москва, Россия

✉ viev@mail.ru

Поступила в редакцию: 13.03.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Шабейкин А.А., Гулюкин А.М., Патрикеев В.В.

Scientific article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-18-25

Alexander A. Shabeykin ✉

Alexey M. Gulyukin

Vladimir V. Patrikeev

Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia

✉ viev@mail.ru

Received by the editorial office: 13.03.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Shabeykin A.A., Gulyukin A.M., Patrikeev V.V.

Особенности эпизоотического процесса бешенства в зонах предгорий и гор Северного Кавказа

РЕЗЮМЕ

Проведенный анализ закономерностей развития эпизоотического процесса на территории Европейской части Российской Федерации основывается на данных об официально зарегистрированных случаях бешенства за период 2013–2025 гг.

В природных провинциях Северного Кавказа эпизоотический процесс бешенства характеризуется низкой инцидентностью и развивается с выраженными региональными особенностями. Отсутствует формирование выраженных многолетних эпизоотических циклов, число зарегистрированных случаев заболевания домашних и сельскохозяйственных превышает число случаев бешенства среди диких животных, что является нетипичным для эпизоотий природного типа.

Высокий процент вовлечения в эпизоотический процесс бешенства сельскохозяйственных и домашних животных объясним продолжительным нахождением животных вне помещений — традиционная практика для южных регионов. Это обуславливает выраженный «эффект перелива» (spillover effect) природных эпизоотий даже в условиях низкой инцидентности среди резервуарных видов животных.

В Северо-Кавказском федеральном округе эпизоотический процесс бешенства протекает на территории, частично изолированной географическими барьерами. Большой Кавказский хребет с юга, а также природные зоны сухих степей и полупустынь с востока значительно сужают потенциальные направления продвижения эпизоотических волн бешенства. Это обуславливает низкую стабильность эпизоотического процесса бешенства, который находится в прямой зависимости от уровня инцидентности бешенства на территории соседних регионов. Наблюдаемое в последнее 10-летие снижение инцидентности бешенства на территории Европейской части РФ спровоцировало резкое уменьшение количества эпизоотических волн бешенства, которые циркулировали на территории природных провинций Предкавказья и склонов Большого Кавказа. За период 2013–2015 гг. на СКФО приходилось 3,5% от всех случаев бешенства (в Европейской части РФ). К 2022–2024 гг. этот показатель сократился до 1,5% и до 0,4% в 2025 году.

Ключевые слова: Эпизоотический процесс, бешенство, Rabies lyssavirus, нозоареал, Северный Кавказ, пространственный анализ, резервуар вируса, база данных, геоинформационная система, природно-сельскохозяйственная провинция

Для цитирования: Шабейкин А.А., Гулюкин А.М., Патрикеев В.В. Особенности эпизоотического процесса бешенства в зонах предгорий и гор Северного Кавказа. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 18–25.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-18-25>

Features of the epizootic process of rabies in the foothill and mountainous areas of the North Caucasus

ABSTRACT

This analysis of epizootic development patterns in the European part of the Russian Federation is based on data on officially registered rabies cases for the period 2013–2025.

In the natural provinces of the North Caucasus, the rabies epizootic process is characterized by low incidence and develops with distinct regional characteristics. There is no formation of distinct long-term epizootic cycles; the number of registered cases of rabies in domestic and farm animals exceeds the number of cases in wild animals, which is atypical for natural epizootics.

The high percentage of farm and domestic animals involved in the rabies epizootic process is explained by the prolonged presence of animals outdoors, a common occurrence in southern regions. This leads to a pronounced «spillover effect» in natural epizootics, even under conditions of low incidence among reservoir species. In the North Caucasus Federal District, the rabies epizootic process is occurring in an area partially isolated by geographic barriers. The Greater Caucasus Range to the south, as well as dry steppe and semi-desert zones to the east, significantly limit the potential paths for rabies epizootic waves. This results in low stability of the rabies epizootic process, which is directly dependent on the rabies incidence rate in neighboring regions. The observed decline in rabies incidence in the European part of the Russian Federation over the past decade has triggered a sharp reduction in the number of rabies epizootic waves circulating in the natural provinces of the Pre-Caucasus and the slopes of the Greater Caucasus. From 2013 to 2015, the North Caucasus Federal District accounted for 3.5% of all rabies cases (in the European part of the Russian Federation). However, by 2022–2024, this figure had decreased to 1.5% and to 0.4% in 2025.

Key words: Epizootic process, rabies, Rabies lyssavirus, nosoareal, the North Caucasus, spatial analysis, virus reservoir, database, geoinformation system, natural-agricultural province

For citation: Shabeykin A.A., Gulyukin A.M., Patrikeev V.V. Features of the epizootic process of rabies in the foothill and mountainous areas of the North Caucasus. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 18–25 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-18-25>

Введение/Introduction

Бешенство представляет собой инфекционное заболевание, которое вызывается нейротропными вирусами рода *Lyssavirus* семейства *Rhabdoviridae* порядка *Mononegavirales*. Из 18 видов вирусов, входящих в род *Lyssavirus*, среди наземных видов животных глобальное распространение получил *Rabies lyssavirus*, который способен относительно быстро переходить к циркуляции в популяциях животных других видов [1, 2]. Сохранение генофонда *Rabies lyssavirus* происходит благодаря биологической резервации внутри популяций хищников (*Carnivora*), преимущественно семейства псовых (*Canidae*) [3]. Особенности эпизоотического процесса *Rabies lyssavirus* предопределяются механизмом передачи возбудителя через укус и крайне высокой летальностью, которая находится на уровне, близком к 100% [4]. Животные семейства псовых часто наносят укусы своим сородичам, активно мигрируют, способны быстро восстановить численность популяции после прохождения эпизоотической волны, что предопределяет устойчивость эпизоотического процесса. На территории Российской Федерации резервация *Rabies lyssavirus* преимущественно происходит в популяции рыжей лисицы (*Vulpes vulpes*) [5]. В арктической природной зоне резервация *Rabies lyssavirus* происходит в популяциях песцов (*Alopex lagopus*) [6]. В зоне смешанных и широколиственных лесов регистрируется высокая доля случаев бешенства среди енотовидных собак (*Nyctereutes procyonoides*), но их участие в резервации *Rabies lyssavirus* пока не доказано [7–9].

Другие виды животных, вовлекаемые в эпизоотический процесс бешенства, не обеспечивают самоподдерживающуюся циркуляцию вируса в своих популяциях и расцениваются как тупиковый вектор эпизоотической волны (spillover effect — эффект «перелива») [10]. Как результат эффекта «перелива», на территории Российской Федерации расцениваются случаи бешенства среди домашних плотоядных животных — собак и кошек. Эпизоотии бешенства с резервацией вируса в популяциях собак в РФ были ликвидированы к середине XX века, но по данным эпизоотологического мониторинга, современная эпизоотическая ситуация по бешенству продолжает сопровождаться высоким уровнем заболеваемости собак [11–13]. В Российской Федерации утвержден Приказ Минсельхоза России от 25.11.2020 N 705 (ред. от 24.08.2021) «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений,

направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов бешенства»¹. Действующая система противозпизоотических мероприятий является эффективным сдерживающим фактором, предотвращающим развитие эпизоотий бешенства антропоургического (городского) типа.

Инцидентность бешенства среди собак уступает по числу выявленных случаев только лисицам [14,15]. Это объяснимо поведенческими паттернами домашних плотоядных животных, которые защищают свою территорию от вторжения диких животных, что ведет к частым случаям заражения их бешенством [16].

Цель исследования — выявить региональные особенности эпизоотического процесса бешенства в природно-сельскохозяйственных провинциях предгорий и гор Северного Кавказа за период 2013–2025 гг., включая пространственно-временную динамику, видовую структуру заболеваемости и влияние географических барьеров.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Анализ пространственного, временного и популяционного распространения бешенства проводился, исходя из запросов в тематической базе данных, которая была сформирована по официальной информации, предоставленной ФГБУ Центр ветеринарии Минсельхоза России² в рамках Соглашения о сотрудничестве №05/05 от 15.05.2024. В базе данных были агрегированы эпизоотологические данные о случаях бешенства у животных за временной период 01.01.2013–31.12.2025. Исходя из реляционных отношений, вся информация в базе данных была структурирована по временной шкале, виду заболевших животных, принадлежности административным районам и привязана к природно-сельскохозяйственным провинциям. По результатам статистического анализа, исследовались региональные особенности формирования циклических колебаний инцидентности и вовлеченность в эпизоотический процесс бешенства животных различных видов. При проведении анализа использовались данные по Европейской части Российской Федерации без учета новых регионов из-за отсутствия полной информации за весь период.

По запросам в базе данных в тематическом ГИС-проекте (на платформе QGIS³) были сформированы дескриптивные слои карт, визуализирующие пространственное распределение вспышек бешенства по заданным параметрам. Также были сформированы стохастические картографические слои, отображающие вероятностное расположение вспышек бешенства в дикой природе. Построение стохастических карт проводилось

¹ <https://39.fsvps.gov.ru/files/prikaz-minselhoza-rossii-ot-25-11-2020-n-705-red-ot-24-08-2021-ob-utverzhdenii-veterinarnykh-pravil-osushhestvleniya-profilakticheskikh-dagnosticheskikh-ogranichitelnykh-i-inykh-meroprijatij-ustanovlenij/>

² <https://vetandlife.ru/epizootic-situation/v-rossii-za-avgust-zafikisirovali-61-sluchaj-beshenstva-u-zhivotnyh/>

³ <https://qgis.org/>

по принципу «тепловых» карт с использованием инструмента «ядерной оценки плотности»⁴.

Результаты и обсуждение /
Results and discussion

На территории Европейской части Российской Федерации эпизоотический процесс бешенства имеет выраженную территориальную дифференциацию.

Карта, приведенная на рис. 1, позволяет сделать вывод о прохождении границ современного нозоареала бешенства, а также о наличии зон высокой плотности расположения вспышек бешенства в Европейской части Российской Федерации.

Согласно результатам запроса в тематической базе данных, наибольшее количество вспышек бешенства за период 2013–2025 гг. приходилось на Среднерусскую лесостепную и Среднерусскую южнотаежно-лесную природно-сельскохозяйственные провинции.

Исходя из данных таблицы 1, на территорию природных провинций Предкавказья и склонов Большого Кавказа за весь рассматриваемый период приходилось 3% от всех случаев бешенства. Если разбить данные на 3-летние периоды, то в 2013–2024 гг. доля природных провинций Северного Кавказа в общем числе зарегистрированных вспышек бешенства постепенно уменьшалась с 3,5% до 1,5%. В 2025 году данный показатель составил 0,4%.

За рассматриваемый период снижение инцидентности бешенства регистрировалось во всех природно-сельскохозяйственных провинциях Европейской части Российской Федерации, но на территории Северного Кавказа этот процесс проходил более выраженно.

Сформировавшийся тренд на снижение инцидентности бешенства в Европейской части Российской Федерации объясним кампанией по оральной вакцинации диких плотоядных [16]. Наибольшее количество доз оральной антирабической вакцины за данный период раскладывалось в наиболее неблагополучных регионах Центрального и Приволжского федеральных округов. Плотность раскладки оральной вакцины во всех регионах Северо-Кавказского федерального округа была значительно меньше рекомендаций Всемирной организации по охране здоровья животных (МЭБ) и производителей вакцин (20–25 приманок на км²) [5]. Из-за ограниченного применения оральной антирабической

Рис. 1. Вспышки бешенства в административных районах Европейской части Российской Федерации (суммарно за 2013–2025 гг.)

Fig. 1. Rabies outbreaks in the administrative regions of the European part of the Russian Federation (cumulative for 2013–2025)

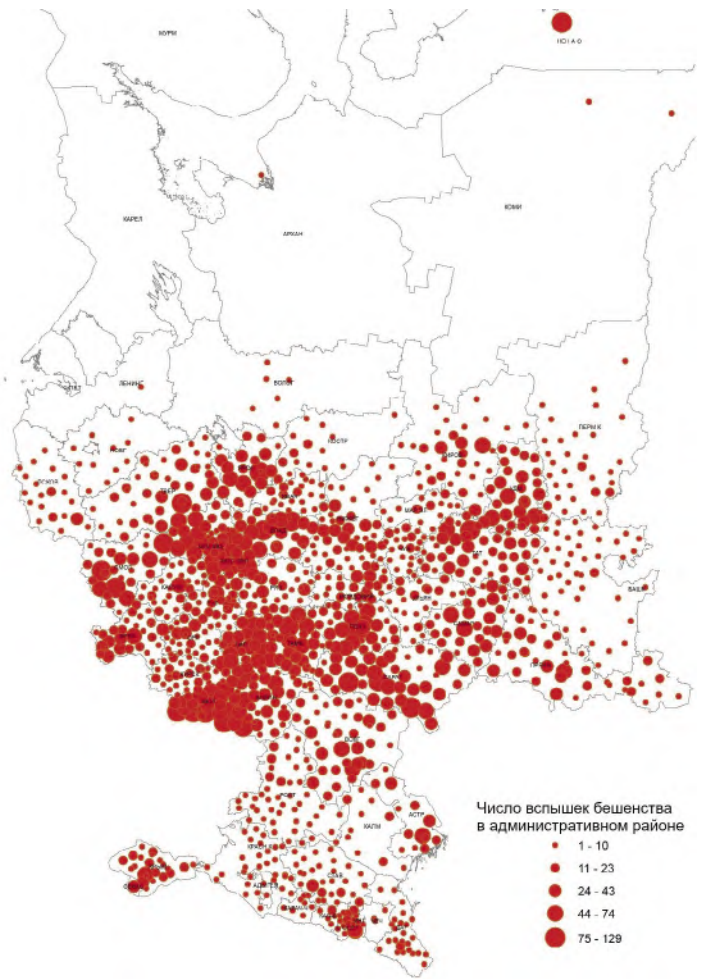


Таблица 1. Распределение вспышек бешенства по природно-сельскохозяйственным провинциям Европейской части РФ (в 2013–2025 гг.)
Table 1. Distribution of rabies outbreaks by natural and agricultural provinces of the European part of the Russian Federation (in 2013–2025)

Природно-сельскохозяйственная провинция	Число вспышек бешенства
Среднерусская лесостепная	6633
Среднерусская южнотаежно-лесная	6109
Предуральская лесостепная	1430
Южнорусская степная	1343
Заволжская степная	865
Маньчско-Донская сухостепная	597
Заволжская сухостепная провинция	438
Предкавказская степная и лесостепная	381
Прикаспийская полупустынная	243
Арало-Каспийская пустынная	236
Большекавказская горно-лугово-лесная и горностепная	194
Остальные 10 провинций	677

вакцины на территории регионов Северного Кавказа наблюдаемое снижение инцидентности можно объяснить не прямым, а косвенным результатом проводимой вакцинации, как следствие

⁴ https://plugins.qgis.org/plugins/qgis_templates_symbology/

уменьшения интенсивности эпизоотических волн с неблагоприятных территорий Среднерусской равнины.

Как видно из графиков на рисунке 2, тренд на снижение инцидентности бешенства на территории Европейской части Российской Федерации был наиболее выражен в 2015–2020 гг. В последнее пятилетие на территории Среднерусской лесостепной природной провинции наблюдался незначительный рост числа вспышек бешенства, что потенциально увеличивает давление на эпизоотическую ситуацию в южных регионах.

Характерной особенностью эпизоотического процесса бешенства в природных провинциях Северного Кавказа является отсутствие многолетних эпизоотических циклов, которые регистрируются в лесостепной и южно-таежной лесной природных провинциях Среднерусской равнины. Сглаженность кривой заболеваемости может быть объяснима несколькими факторами. Низкая плотность популяций диких псовых в регионе не обеспечивает формирование автохтонного эпизоотического процесса с типичными этапами роста и снижения заболеваемости. Удаленное географическое расположение Северного Кавказа относительно зоны наибольшего эпизоотического неблагоприятия исключает возможность прямого проникновения эпизоотических волн бешенства в периоды циклического подъема заболеваемости.

Для определения зон наибольшего эпизоотического неблагоприятия, была построена стохастическая карта плотности расположения вспышек бешенства в дикой природе, построенная по принципу «тепловой» карты, на которой по результатам геостатистических расчетов были визуализированы зоны высокой плотности пространственного расположения вспышек бешенства.

На карте, приведенной на рис. 3, зоны высокой плотности расположения вспышек бешенства показаны темно-желтым и коричневым цветами. Наличие разрозненных зон высокой плотности вспышек бешенства показывает на развитие эпизоотических процессов бешенства, интенсивно протекающих в различных экорегионах и находящихся на значительном удалении друг от друга. Расстояние между зонами высокой эпизоотической активности многократно превышает длину миграционных маршрутов лисиц и расстояние, которое проходит эпизоотическая волна за год⁵. Это позволяет говорить о наличии территориально разнесенных, полностью или частично автономных эпизоотических процессов, развивающихся в эпизоотических кластерах, входящих в состав различных природных провинций.

Рис. 2. Соотношение ежегодной динамики инцидентности бешенства в наиболее неблагоприятных природно-сельскохозяйственных провинциях и в природно-сельскохозяйственных провинциях юга Европейской части РФ

Fig. 2. The ratio of the annual dynamics of rabies incidence in the most unfavorable natural-agricultural provinces and in the natural-agricultural provinces of the south of the European part of the Russian Federation

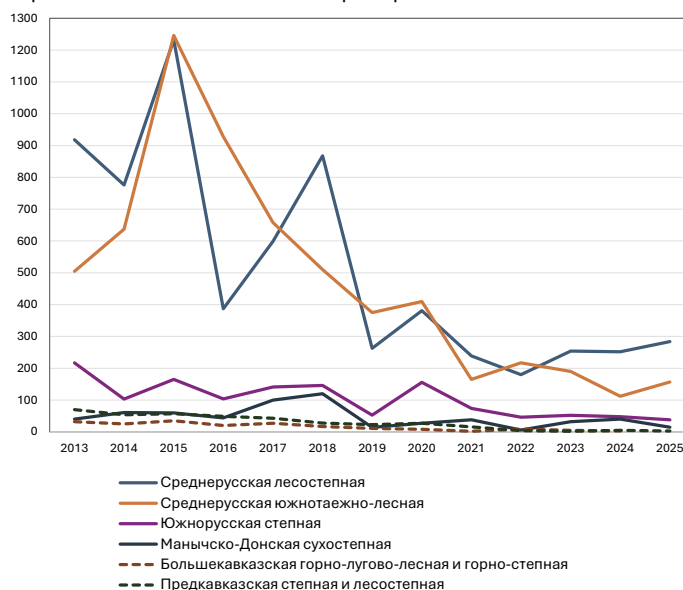
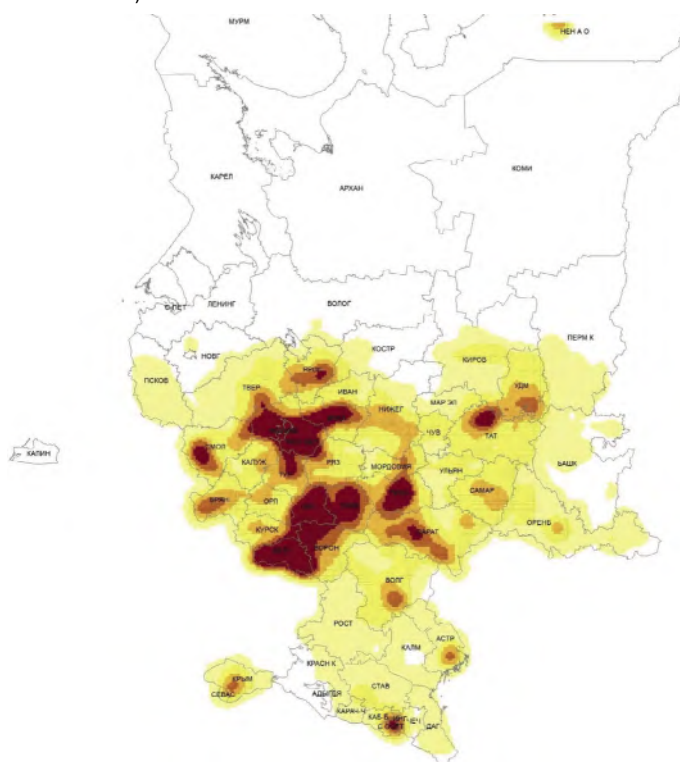


Рис. 3. Зоны высокой плотности расположения вспышек бешенства Европейской части РФ (суммарно за период 01.01.2013 — 31.12.2025 гг.)

Fig. 3. High-density zones of rabies outbreaks in the European part of the Russian Federation (cumulative for the period from 01.01.2013 to 31.12.2025)



Как показал проведенный анализ, эпизоотические процессы в различных природных провинциях характеризуются отличиями в видовом составе животных, у которых выявлялось бешенство.

В природных зонах Северного Кавказа эпизоотический процесс характеризуется низким

⁵ Водерников В.А., Седов В.А., Ивановский Э.В. Бешенство животных. М.: Колос, 1974. 1–112 с.

Таблица 2. Вовлечение различных видов животных в эпизоотический процесс бешенства на территории наиболее неблагоприятных природно-сельскохозяйственных провинций и на территории природно-сельскохозяйственных провинций юга Европейской части РФ (за период 01.01.2013 — 30.06.2025 гг.)

Table 2. Involvement of various animal species in the epizootic process of rabies in the territory of the most unfavorable natural-agricultural provinces and in the territory of natural-agricultural provinces of the south of the European part of the Russian Federation (for the period 01.01.2013 — 30.06.2025)

Природно-сельскохозяйственная провинция	Лисица	Собака	Енотовидная собака	Кошка	КРС	Другие дикие	Другие домашние
Среднерусская лесостепная	34,0%	28,9%	1,3%	23,3%	7,3%	2,1%	3,1%
Среднерусская южнотаежно-лесная	43,5%	19,1%	17,1%	12,8%	2,1%	4,1%	1,4%
Южнорусская степная	22,5%	31,9%	0,5%	29,7%	10,0%	3,0%	2,4%
Маньчско-Донская сухостепная	12,7%	29,4%	1,1%	32,0%	19,6%	2,8%	2,4%
Предкавказская степная и лесостепная	12,9%	30,2%	0,3%	25,6%	21,6%	5,6%	3,8%
Прикаспийская полупустынная	9,0%	22,7%	1,2%	27,1%	28,2%	7,8%	3,9%
Большекавказская горно-лугово-лесная и горно-степная	4,6%	32,8%	0,0%	16,4%	36,4%	5,6%	4,1%

процентом случаев бешенства среди лисиц и высокой долей случаев заболевания бешенством КРС.

Регистрируемая доля случаев бешенства среди собак составляет около 30%, но сопоставима с картиной, наблюдаемой в лесостепных и степных биомах. Учитывая, что в Северо-Кавказском федеральном округе случаи гидрофобии у людей преимущественно регистрируются после укусов собак, в некоторых исследованиях это расценивается, как результат присутствия в регионе антропоургических очагов бешенства [13]. Однако этот вопрос остается открытым. Во всех регионах страны действуют единые ветеринарные правила с единым подходом к профилактике бешенства в популяциях домашних животных и нет прямых оснований для утверждения о наличии на территории Северного Кавказа эпизоотий бешенства собачьего типа.

Высокий процент вовлечения в эпизоотический процесс бешенства сельскохозяйственных и домашних животных показывает на развитость пастбищного и уличного содержания животных, что обеспечивает интенсивные контакты с дикой природой и высокую вероятность их заражения.

Результаты анализа данных эпизоотологического мониторинга за 2013–2025 гг. показывают, что биологическая резервация вируса бешенства в природных провинциях Предкавказья и склонов Большого Кавказа происходит в популяции лисиц. Число случаев бешенства среди других диких псовых находится на спорадическом уровне. За рассматриваемый период в Северо-Кавказском федеральном округе, согласно данным официальной статистики, случаи бешенства среди волков и шакалов регистрировались не каждый год и суммарно составляли 1,4% от общего числа случаев.

Сочетание высокой выявляемости случаев бешенства среди собак, кошек и КРС с сильным «эффектом перелива» природных эпизоотий на домашних животных обеспечивает четкую индикацию природных эпизоотий бешенства даже в условиях низкой инцидентности бешенства в целом.

За период 2013–2025 гг. случаи бешенства среди собак, кошек и КРС регистрировались во всех регионах Северного Кавказа. Это показывает, что эпизоотические волны бешенства способны распространяться по всей территории Предкавказья и склонов Большого Кавказа.

Мониторинг за бешенством сопряжен с выскальзыванием из официального учета большей части случаев болезни в дикой природе. Исходя из данного аспекта, территории с высокой частотой выявления случаев бешенства среди лисиц соответствуют зоне наибольшего эпизоотического неблагополучия.

Как видно на карте, приведенной на рис. 4, вероятные векторы входа эпизоотических волн бешенства на территорию СКФО проходят по направлению Ростовская область — Ставропольский Край — Республика Кабардино-Балкария — Республика Северная Осетия и частично вдоль побережья Каспия.

Рис. 4. Вспышки бешенства в популяции лисиц на территории центральных и южных регионов Европейской части РФ (показано число вспышек бешенства в административных районах, суммарно за период 01.01.2013 — 31.12.2025 гг.)

Fig. 4. Rabies outbreaks in the fox population in the central and southern regions of the European part of the Russian Federation (the number of rabies outbreaks in administrative districts is shown, in total for the period from 01.01.2013 to 31.12.2025)



Бешенство у лисиц в целом за период с 2013 по 2025 гг. регистрировалось во всех регионах Северного Кавказа, кроме Чеченской Республики, Республики Ингушетия и Республики Адыгея. Данная пространственная закономерность объяснима процессом угасания эпизоотической волны в процессе ее распространения от равнинных территорий к горным.

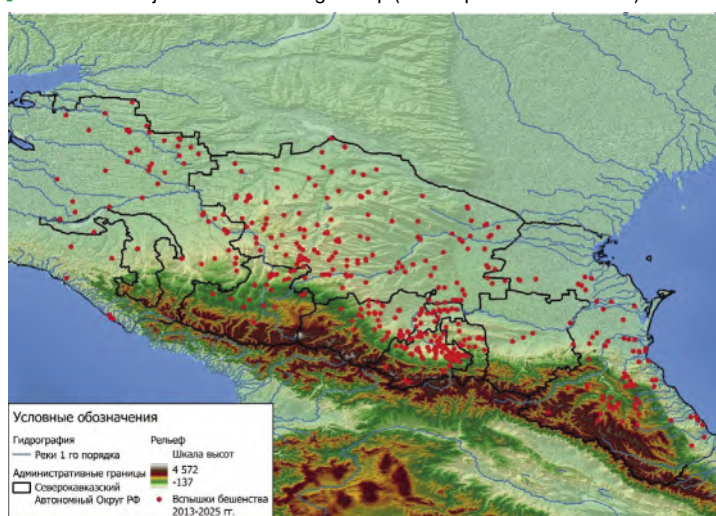
На прохождение эпизоотических волн бешенства с центральных регионов России на юг наибольшее влияние оказывают ландшафтно-климатические условия территории. На западе и в средней части Предкавказья располагается степная зона, которая непосредственно связана со степями Среднерусской равнины и является оптимальной для миграции лисиц. В восточной части располагаются сухие степи и полупустыни, что ограничивает миграционные потоки животных. Дополнительно на юго-востоке Предкавказья проходят параллельные хребты Терско-Сунженской возвышенности, которые также являются естественным барьером для эпизоотических волн бешенства.

Как видно на карте, представленной на рис. 5, большинство вспышек бешенства в регионе расположены на равнинах в пределах Кубано-Приазовской низменности, Ставропольской возвышенности, Терско-Кумской низменности и в предгорьях Большого Кавказа, в пределах высот до 1000 м над уровнем моря. Незначительное количество, в основном одиночных вспышек, регистрировалось в нагорьях Дагестана на высотах до 2000 м от уровня моря. Это подтверждает предположение о том, что горный хребет большого Кавказа выполняет барьерную роль, препятствуя свободной миграции диких животных и прохождению эпизоотических волн с южных территорий. Вспышки бешенства, зарегистрированные в горах, концентрируются в узких речных долинах.

Учитывая характер географического расположения Дагестана и особенности его ландшафта, включающего значительный участок побережья Каспия, в данном регионе нельзя исключить трансграничный занос эпизоотических волн бешенства с территории Азербайджана. Наибольшее число вспышек бешенства в Азербайджане приходится на горно-лесную местность в северо-западных регионах страны. Считается, что эпизоотический процесс бешенства на территории Республики Азербайджан поддерживается благодаря резервации вируса в дикой природе, но при этом происходит частое заражение домашних и сельскохозяйственных животных (по данным за 2015–2016 гг., собаки — 51%, крупный рогатый скот — 34% от общего числа выявленных случаев заболевания бешенством животных) [17]. Высокий процент заболевания собак в Азербайджане вполне может быть объяснен эффектом «перелива» природных эпизоотий, также остается риск

Рис. 5. Локализация вспышек бешенства в Северо-Кавказском федеральном округе в сопряжении с картой высот (за период 2013–2025 гг.)

Fig. 5. Localization of rabies outbreaks in the North Caucasus Federal District in conjunction with a height map (for the period 2013–2025)



одновременного присутствия эпизоотического процесса бешенства собачьего типа, по аналогии с Республикой Турция [18].

Выводы/Conclusions

Характер пространственного распределения вспышек бешенства предопределяется ландшафтно-климатическими и антропогенными факторами, которые влияют на стабильность и интенсивность эпизоотического процесса [16].

Эпизоотический процесс бешенства на территории Северо-Кавказского федерального округа находится в прямой зависимости от интенсивности эпизоотических волн бешенства с территории Среднерусской равнины. На фоне кампании по оральной вакцинации диких плотоядных и снижения инцидентности в центральных регионах доля Северо-Кавказского федерального округа в общем числе случаев по Европейской части РФ сократилась с 3,5% (2013–2015 гг.) до 1,5% (2022–2024 гг.) и 0,4% (2025 г.). Горные массивы Большого Кавказа препятствуют свободному распространению эпизоотических волн бешенства, направляя их по ограниченной территории горных долин. Это способствует относительно быстрому самозатуханию эпизоотической волны в результате гибели локальных популяций лисиц, выполняющих роль основного биологического резервуара полевых штаммов *Rabies lyssavirus*. Пространственный анализ подтверждает барьерную роль Большого Кавказского хребта. Подавляющее число вспышек бешенства регистрируется на высотах до 1000 м над уровнем моря, преимущественно в равнинной и предгорной зонах (Кубано-Приазовская низменность, Ставропольская возвышенность, Терско-Кумская низменность). В нагорьях Дагестана (высоты до 2000 м) отмечены лишь единичные случаи бешенства.

В зонах предгорий и гор Северного Кавказа доля случаев бешенства у лисицы в структуре

заболеваемости составляет 4,6–12,9%, что значительно меньше, чем в зоне наибольшего эпизоотического неблагополучия в Среднерусских южнотаежно-лесной и лесостепной природных провинциях (34,0–43,5%). При этом вовлечение сельскохозяйственных и домашних животных в эпизоотический процесс на Северном Кавказе аномально высоко. Причина этого заключается в сильно выраженном эффекте «перелива» природной эпизоотии бешенства (spillover effect), который является результатом интерференции двух факторов: традиционной для южных регионов практики круглогодичного беспривязного содержания животных и наложения ареалов диких хищников на территории пастбищ сельскохозяйственных животных на равнинах и речных долинах. Доля крупного рогатого скота в структуре заболеваемости бешенством составляет 21,6% (Предкавказская степная провинция) и 36,4% (Большекавказские горные провинции), что в 5–10 раз

превышает показатели центральных регионов Европейской части РФ (2,1–7,3%). Доля случаев бешенства у собак в природных провинциях предгорий и гор Северного Кавказа также регистрируется на высоком уровне (30,2–32,8%). В результате следует учитывать постоянно сохраняющийся риск формирования эпизоотий собачьего типа.

В условиях гор и предгорий Северного Кавказа приоритетной стратегией противоэпизоотических мероприятий является масштабная и систематическая вакцинация домашних плотоядных (собак и кошек) и сельскохозяйственных животных. Проведение оральной вакцинации диких плотоядных (с обеспечением плотности раскладки на уровне рекомендованных Всемирной организацией по охране здоровья животных 20–25 приманок/км²), можно рекомендовать на территориях равнин Кубано-Приазовской низменности, Ставропольской возвышенности и Терско-Кумской низменности.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FGUG-2025-0005)

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FGUG-2025-0005)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nahata K.D. *et al.* On the Use of Phylogeographic Inference to Infer the Dispersal History of Rabies Virus: A Review Study. *Viruses*. 2021; 13(8): 1628. <https://doi.org/10.3390/v13081628>
2. Черкасский Б.Л. Эпидемиология и профилактика бешенства. М.: Медицина. 1985; 287.
3. Troupin C. *et al.* Large-Scale Phylogenomic Analysis Reveals the Complex Evolutionary History of Rabies Virus in Multiple Carnivore Hosts. *PLOS Pathogens*. 2016; 12(12): e1006041. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006041>
4. Rupprecht C.E., Belsare A.V., Cliquet F., Mshelbwala P.P., Seetahal J.F.R., Wicker V.V. The Challenge of Lyssavirus Infections in Domestic and Other Animals: A Mix of Virological Confusion, Consternation, Chagrin, and Curiosity. *Pathogens*. 2025; 14(6): 586. <https://doi.org/10.3390/pathogens14060586>
5. Шабейкин А.А., Гулюкин А.М., Патрикеев В.В., Паршикова А.В., Белименко В.В., Лопунов С.В. Применение геоинформационных технологий при планировании противоэпизоотических мероприятий при бешенстве. *Ветеринария и кормление*. 2023; (6): 79–84. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-6-18>
6. Полещук Е.М., Сидоров Г.Н., Грибенча С.В. Итоги изучения антигенного и генетического разнообразия вируса бешенства в популяциях наземных млекопитающих России. *Вопросы вирусологии*. 2013; 58(3): 9–16. EDN PZXTTN
7. Макаров В.В., Сухарев О.И., Гулюкин А.М., Соколов М.Н., Литвинов О.Б. Бешенство енотовидных собак: статистический анализ заболеваемости. *Ветеринария*. 2009; (6): 20–25. EDN KWZDOZ
8. Гулюкин А.М. и др. Особенности эпизоотического процесса и молекулярно-генетическая характеристика изолятов вируса бешенства, выявленных на территории Тверской области. *Вопросы вирусологии*. 2018; 63(3): 115–123. <https://doi.org/10.18821/0507-4088-2018-63-3-115-123>
9. Девяткин А.А. и др. Молекулярная эпидемиология вируса бешенства на территории Российской Федерации. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2017; 16(1): 39–42. EDN YJCGVH

REFERENCES

1. Nahata K.D. *et al.* On the Use of Phylogeographic Inference to Infer the Dispersal History of Rabies Virus: A Review Study. *Viruses*. 2021; 13(8): 1628. <https://doi.org/10.3390/v13081628>
2. Cherkasskiy B.L. Epidemiology and prevention of rabies. Moscow: *Meditina*. 1985; 287 (in Russian).
3. Troupin C. *et al.* Large-Scale Phylogenomic Analysis Reveals the Complex Evolutionary History of Rabies Virus in Multiple Carnivore Hosts. *PLOS Pathogens*. 2016; 12(12): e1006041. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006041>
4. Rupprecht C.E., Belsare A.V., Cliquet F., Mshelbwala P.P., Seetahal J.F.R., Wicker V.V. The Challenge of Lyssavirus Infections in Domestic and Other Animals: A Mix of Virological Confusion, Consternation, Chagrin, and Curiosity. *Pathogens*. 2025; 14(6): 586. <https://doi.org/10.3390/pathogens14060586>
5. Shabeikin A.A., Gulyukin A.M., Patrikeev V.V., Parshikova A.A., Belimenko V.V., Lopunov S.V. Geoinformation technologies for rabies control. *Veterinaria i kormlenie*. 2023; (6): 79–84 (in Russian). <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-6-18>
6. Poleshchuk E.M., Sidorov G.N., Gribencha S.V. A summary of the data about antigenic and genetic diversity of rabies virus circulating in the terrestrial mammals in Russia. *Problems of virology*. 2013; 58(3): 9–16 (in Russian). EDN PZXTTN
7. Makarov V.V., Sukharev O.I., Gulyukin A.M., Sokolov M.N., Litvinov O.B. Statistical analyses morbidity racoon dogs rabies. *Veterinary medicine*. 2009; (6): 20–25 (in Russian). EDN KWZDOZ
8. Gulukin A.M. *et al.* Features of episodic process and molecular-genetic characteristics of virus isolates of rabies in Tver region. *Problems of virology*. 2018; 63(3): 115–123 (in Russian). <https://doi.org/10.18821/0507-4088-2018-63-3-115-123>
9. Deviatkin A.A. *et al.* Molecular epidemiology of rabies virus in the territory of the Russian Federation. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*. 2017; 16(1): 39–42 (in Russian). EDN YJCGVH

10. Гулюкин А.М., Шабейкин А.А., Патрикеев В.В., Паршикова А.В., Цареградский П.Ю., Шабейкина М.В. Особенности эпизоотического процесса бешенства в восточной части Европейского нозоареала. *Ветеринария*. 2022; (12): 15–21. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.12.15-21>
11. Макаров В.В. Современные представления о бешенстве. *Вестник охотоведения*. 2018; 15(3): 215–227. EDN XWPZSH
12. Парошин А.В., Воскресенский С.Б., Груздев К.Н., Чернышова Е.В. Эпизоотическая ситуация по бешенству на территории Московской области (2011–2023 гг.) и роль оральной вакцинации диких плотоядных. *Ветеринария сегодня*. 2024; 13(3): 214–222. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-214-222>
13. Полещук Е.М., Сидоров Г.Н., Савкина Е.С. Эпизоотологическая и эпидемиологическая характеристика бешенства в России в 2019–2021 гг. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2023; (2): 49–60. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2023-2-49-60>
14. Анисина О.В., Пухова Н.М., Богомолова О.А., Конкина С.В., Паршикова А.В., Филимонова А.Д. Анализ эпизоотии бешенства в Центральном федеральном округе России за 2018–2022 годы. *Аграрная наука*. 2023; (9): 26–31. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-26-31>
15. Шишкина М.С., Лобова Т.П., Михайлова В.В., Скворцова А.Н. Анализ результатов эпизоотического мониторинга бешенства в Российской Федерации за 2021 год. *Аграрная наука*. 2022; (10): 38–43. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-38-43>
16. Гулюкин А.М., Шабейкин А.А. Обзор современной эпизоотической ситуации по бешенству в Российской Федерации. Динамика изменений за 35-летний период, закономерности, влияющие факторы. *Ветеринария сегодня*. 2025; 14(3): 232–240. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-3-232-240>
17. Safi N., Asadov K., Zeynalova S.K., Gasanov E., Javadov N. The prevalence of rabies cases in the territory of Azerbaijan, January 2015–June 2016. *Online Journal of Public Health Informatics*. 2017; 9(1): e162. <https://doi.org/10.5210/ojphi.v9i1.7756>
18. Johnson N. et al. Rabies epidemiology and control in Turkey: past and present. *Epidemiology and Infection*. 2010; 138(3): 305–312. <https://doi.org/10.1017/S0950268809990963>

ОБ АВТОРАХ

Александр Александрович Шабейкин

доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник
viev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6579-779X>

Алексей Михайлович Гулюкин

доктор ветеринарных наук, Член-корреспондент
Российской академии наук, главный научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0003-2160-4770>

Владимир Владимирович Патрикеев

научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0002-1515-4788>

Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко
Российской академии наук,
ул. Рязанский проспект, 24, корпус 1, Москва, 109428, Россия

10. Gulyukin A.M., Shabeikyn A.A., Patrikeev V.V., Parshikova A.V., Tsaregradskiy P.Yu., Shabeykina M.V. Features of the epizootic process of rabies in the eastern part of the European nosoareal. *Veterinary medicine*. 2022; (12): 15–21 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2022.25.12.15-21>

11. Makarov V.V. Modern concepts of rabies. *Herald of game management*. 2018; 15(3): 215–227 (in Russian). EDN XWPZSH

12. Paroshin A.V., Voskresensky S.B., Gruzdev K.N., Chernyshova E.V. Rabies situation in the Moscow Oblast in 2011–2023 and the role of oral vaccination of wild carnivores against rabies. *Veterinary Science Today*. 2024; 13(3): 214–222 (in Russian). <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-214-222>

13. Poleshchuk E.M., Sidorov G.N., Savkina E.S. Epizootiological and epidemiological characteristics of rabies in Russia in 2019–2021. *Problems of Particularly Dangerous Infections*. 2023; (2): 49–60 (in Russian). <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2023-2-49-60>

14. Anisina O.V., Pukhova N.M., Bogomolova O.A., Konkina S.V., Parshikova A.V., Filimonova A.D. Analysis of the rabies epizootic in the Central Federal District of Russia in 2018–2022. *Agrarian science*. 2023; (9): 26–31 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-26-31>

15. Shishkina M.S., Lobova T.P., Mikhailova V.V., Skvortsova A.N. Analysis of the results of epizootic monitoring of rabies in the Russian Federation in 2021. *Agrarian science*. 2022; (10): 38–43 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-38-43>

16. Gulyukin A.M., Shabeykin A.A. Rabies in the Russian Federation: a 35-year review of trends, patterns, and influencing factors. *Veterinary Science Today*. 2025; 14(3): 232–240 (in Russian). <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-3-232-240>

17. Safi N., Asadov K., Zeynalova S.K., Gasanov E., Javadov N. The prevalence of rabies cases in the territory of Azerbaijan, January 2015–June 2016. *Online Journal of Public Health Informatics*. 2017; 9(1): e162. <https://doi.org/10.5210/ojphi.v9i1.7756>

18. Johnson N. et al. Rabies epidemiology and control in Turkey: past and present. *Epidemiology and Infection*. 2010; 138(3): 305–312. <https://doi.org/10.1017/S0950268809990963>

ABOUT THE AUTHORS

Alexander Alexandrovich Shabeykin

Doctor of Veterinary Medicine, Chief Researcher
viev@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6579-779X>

Alexey Mikhailovich Gulyukin

Doctor of Veterinary Medicine, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher
<https://orcid.org/0000-0003-2160-4770>

Vladimir Vladimirovich Patrikeev

Researcher
<https://orcid.org/0000-0002-1515-4788>

Federal Scientific Centre VIEV,
24 Ryazansky Prospekt, bld. 1, Moscow, 109428, Russia

О.А. Булаковская¹ ✉С.Ю. Концевая²¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия² Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

✉ bulakovskaya-oksana2@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Булаковская О.А., Концевая С.Ю.

Oksana A. Bulakovskaya¹ ✉Svetlana U. Kontsevaya²¹ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH)», Moscow, Russia² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

✉ bulakovskaya-oksana2@mail.ru

Received by the editorial office: 15.02.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Bulakovskaya O.A., Kontsevaya S.U.

Алиментарная лимфома кошек как осложнение течения вирусной лейкемии: проспективное исследование 2020-2025 гг.

РЕЗЮМЕ

Лимфома является одним из самых распространенных онкологических заболеваний у кошек, которое может локализоваться в различных органах и тканях организма. Особую клиническую значимость имеет алиментарная лимфома — форма, при которой неоплазия локализуется в желудочно-кишечном тракте, поскольку ее ранние проявления часто неспецифичны или слабо выражены, а отчетливая симптоматика развивается лишь на поздних стадиях заболевания, что затрудняет своевременную диагностику. Вирусная лейкемия кошек (FeLV), вызываемая ретровирусом, существенно повышает риск развития лимфопролиферативных заболеваний, в том числе алиментарной лимфомы, что ухудшает прогноз и осложняет лечение животного. Целью данного исследования является определение взаимосвязи между инфицированием кошек вирусным лейкозом и развитием алиментарной лимфомы, а также оценка эффективности существующих диагностических подходов. В ходе проведенной работы получены сведения об инцидентности вирус-ассоциированных алиментарных лимфом в различных отделах пищеварительного канала, а также о распространенности данной онкопатологии в различных возрастных группах кошек. Результаты исследования подчеркивают необходимость идентификации вируса лейкоза различными методиками для определения формы течения инфекции, что является критически важным для определения стратегии лечения и прогноза исхода заболевания при выявлении алиментарной формы лимфомы.

Ключевые слова: Вирусный лейкоз, алиментарная лимфома, неоплазия, онкология, кошки, проспективное исследование

Для цитирования: Булаковская О.А., Концевая С.Ю., Алиментарная лимфома кошек как осложнение течения вирусной лейкемии: проспективное исследование 2020–2025 гг. *Аграрная наука*. 2026; 406(05): 26–32.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-26-32>

Feline alimentary lymphoma as a complication of viral leukemia: a prospective study from 2020 to 2025

ABSTRACT

Lymphoma is one of the most common oncological diseases in cats, which can be localized in various organs and tissues of the body. In this form, the tumor is localized in the gastrointestinal tract. As a result, its early manifestations are often nonspecific or mild, and distinct symptoms only develop in the later stages of the disease, making timely diagnosis difficult. Feline leukemia virus (FeLV) is caused by a retrovirus, which significantly increases the risk of developing lymphoproliferative diseases, including alimentary lymphoma. Thus, the combination of viral and oncological pathology worsens the prognosis and complicates the treatment of the animal. The purpose of this study is to determine the relationship between feline leukemia virus infection and the development of alimentary lymphoma, as well as to evaluate the effectiveness of existing diagnostic approaches. The study provided information on the incidence of virus-associated alimentary lymphomas in various parts of the digestive tract, as well as on the prevalence of this cancer in different age groups of cats. The results of the study emphasize the need to identify the leukemia virus using various methods to determine the form of the infection. This is an important indicator for determining treatment strategies and predicting the outcome of the disease in cases of alimentary lymphoma.

Key words: viral leukemia, alimentary lymphoma, neoplasia, oncology, cats, prospective study

For citation: Bulakovskaya O.A., Kontsevaya S.U. Feline alimentary lymphoma as a complication of viral leukemia: a prospective study from 2020 to 2025. *Agrarian science*. 2026; 406(05): 26–32 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-26-32>

Введение/Introduction

Вирусный лейкоз кошек (FeLV) остается одним из наиболее значимых инфекционных заболеваний среди домашних кошек, что обусловлено его широкой распространенностью, способностью вызывать иммуносупрессию, ассоциируется с развитием злокачественных новообразований [1, 2]. Среди последних особое место занимает лимфома — гетерогенная группа лимфопролиферативных неоплазий, характеризующаяся многообразием клинических форм и локализаций [3, 4]. Общеизвестным является факт тесной этиопатогенетической связи FeLV с развитием лимфомы, в том числе ее алиментарной (кишечной) формы [2, 5, 6].

Введение в 1970–1980-х годах программ карантирования и массовой вакцинации против FeLV привело к значительному снижению распространенности вируса в странах Европы и Северной Америки [6, 7], а некоторые регионы (Гренада, Галапагосские острова, Индия, остров Изабелла) официально признаны свободными от данной инфекции [8]. Но как показывают исследования последних лет, в Российской Федерации ситуация принципиально иная: уровень инфицирования кошек FeLV остается стабильно высоким и варьирует в зависимости от региона, достигая в Москве 15,8% [9]. Эта высокая распространенность ретровируса создает устойчивую эпидемиологическую основу для развития вторичных онкологических процессов, что обуславливает острую необходимость дифференциации спонтанных (первичных) лимфом от вирус-ассоциированных форм.

Несмотря на очевидную клиническую значимость проблемы, ряд ключевых вопросов остается нерешенным. Во-первых, отсутствуют современные данные о фактической частоте ассоциации FeLV с алиментарной лимфомой у кошек в российской популяции на фоне отсутствия системной вакцинации. Во-вторых, не определены предиктивные факторы (возраст, локализация), позволяющие стратифицировать риск развития вирус-ассоциированной онкопатологии. В-третьих, остается открытым вопрос о сравнительной диагностической ценности различных лабораторных методов (ПЦР с детекцией РНК вируса, ПЦР с детекцией ДНК провируса, ИФА на белок р27) при верификации FeLV-статуса у онкологических больных, особенно с учетом того, что форма течения инфекции (прогрессивная/регрессивная) напрямую влияет на результаты лабораторных тестов [1].

Новизна настоящего исследования заключается в том, что впервые на материале московской популяции кошек за пятилетний период (2020–2025 гг.) в условиях проспективного дизайна был проведен комплексный анализ алиментарных лимфом, ассоциированных с FeLV. В отличие

от предшествующих работ, выполненных преимущественно в Европе и США на фоне низкой распространенности вируса [5, 6, 8, 10], данное исследование отражает реальную клиническую ситуацию в регионе с высоким уровнем инфицирования. В работе впервые для отечественной ветеринарии выполнено прямое сравнение трех диагностических подходов (ПЦР-РНК, ПЦР-ДНК провируса, ИФА) у одной когорты животных с гистологически подтвержденной алиментарной лимфомой. Кроме того, впервые детально охарактеризована возрастная структура вирус-ассоциированной лимфомы (с доминированием группы 1–4 года — 63,39% случаев) и уточнена наиболее частая локализация опухолевого процесса (тощая кишка — 50,41% всех алиментарных лимфом), что имеет прямое прогностическое и лечебно-диагностическое значение.

Целью данного исследования является определение взаимосвязи между инфицированием кошек вирусным лейкозом и развитием алиментарной лимфомы, а также оценка эффективности существующих диагностических подходов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работа выполнена на базе ветеринарной клиники «В добрые руки» (г. Москва), в период с 2020 по 2025 годы.

Объектом исследования послужили кошки разных породных, половых и возрастных групп с признаками пищеварительного расстройства, сопровождающегося симптомами рвоты, снижении массы тела, гипорексии, констипации или диареи. В исследуемую группу были отобраны 242 кошки, критериями включения в группу исследования послужили клинические признаки пищеварительного расстройства у кошек (рвота, диарея, запор, снижение массы тела, гипорексия) продолжительностью не менее 14 дней, при отсутствии положительной динамики на фоне симптоматического лечения, а также морфологическое подтверждение лимфомы по результатам биопсии. Критериями исключения животных из исследуемой группы являлись подтвержденное ранее или выявленное в ходе исследования хроническое воспалительное заболевание кишечника на основании гистологического заключения, прием иммуносупрессивных препаратов в анамнезе, наличие сопутствующей тяжелой почечной или печеночной недостаточности¹.

Всем животным был выполнен комплекс исследований, включающий в себя общее клиническое обследование, ультразвунографию органов брюшной полости (ультразвуковой аппарат «Mindray Vet 7», Китай), морфологический анализ крови и патоморфологическое исследование измененной области пищеварительного канала методом

¹ См.: Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. URL: <https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/>; Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) "Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".

микроскопии материала (микроскоп «Olimpus», Япония).

Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) выполняли на амплификаторе «Nexor 96» (Китай). Для детекции РНК вируса FeLV использовали обратную транскрипцию с последующей амплификацией фрагмента гена gag, в свою очередь, для детекции ДНК провируса амплифицировали фрагмент гена pol в условиях начальной денатурации при температуре 95 °С в течение 5 минут, затем 40 циклов при температуре 95 °С — 30 с., 60 °С — 30 с., 72 °С — 30 с., после финальная элонгация: 72 °С — 5 мин. Продукты амплификации визуализировали в 1,5% агарозном геле с бромистым этидием. Иммуноферментный анализ (ИФА) проводили с целью детекции белка вирусного лейкоза кошек р27 (тест-система «VetLine Elisa», Германия).

Морфологическое исследование крови выполняли с окрашиванием по Паппенгейму и последующей микроскопией с целью выявления лимфо-пролиферативных изменений.

Отбор патологического материала (диффузно-очаговые изменения алиментарного канала и/или регионарных узлов) проводили с применением инцизионной биопсии под ультразвукографическим контролем с применением общей кратковременной седации животных путем внутримышечного введения дексмедетомидина гидрохлорида (5 мкг/кг) и последующим внутривенным введением комбинации тилетамина гидрохлорида и золазепам гидрохлорида в дозировке 7,5 мкг/кг.

При эксцизионной биопсии в ходе проведения диагностической лапаротомии использовали общую анестезию: премедикация дексмедетомидином гидрохлорида (5 мкг/кг) с последующим внутривенным введением комбинации тилетамина гидрохлорида и золазепам гидрохлорида в дозировке 7,5 мкг/кг с последующим поддержанием изофлураном (1,5–2,0 объемных %) в потоке кислорода. Все процедуры выполнялись под контролем, сатурации, частоты сердечных сокращений и температуры тела².

Патоморфологическое исследование выполнено двумя независимыми патологами (врач с 17-летним стажем, врач с 10-летним стажем), специализирующимися на онкоморфологии мелких домашних животных. В случаях расхождения мнений проводилось коллегиальное обсуждение с достижением консенсуса. Патоморфологическое исследование материала проводили по общепринятой методике с окрашиванием гематоксилином и эозином и последующей микроскопией

(микроскоп «Olimpus», Япония, увеличение окуляра $\times 10$, объектив $\times 100$).

Данные показатели были проанализированы пакетом STADIA, STATISTICA (фирма «StatSoft Inc.», США). Данные представлены в виде средних значений и стандартных ошибок среднего. Достоверность различий между группами оценивали с помощью параметрических критериев. Различия считали статистически достоверными при $p < 0,05$.

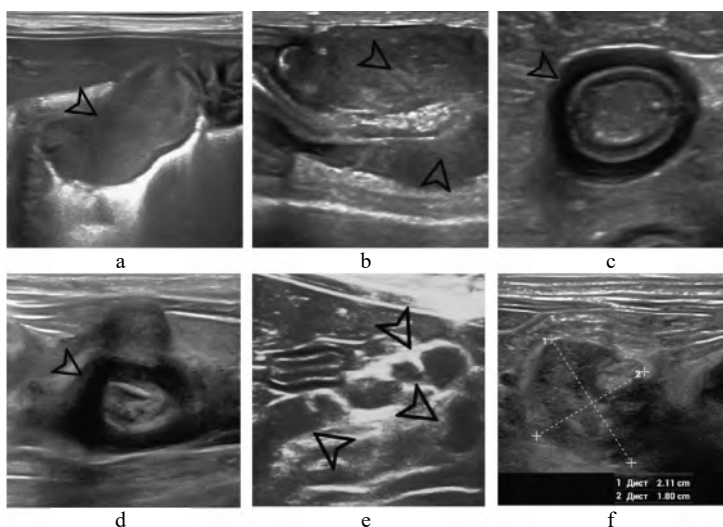
Результаты собственных исследований/ Results of Original Research

Ультразвуковое исследование является одним из наиболее доступных и неинвазивных диагностических методов, позволяющих дифференцировать воспалительное заболевание пищеварительного канала от неопластического [11].

В ходе проведенного исследования сонографическими признаками алиментарной лимфомы кошек являлось очаговое или диффузное утолщение мышечного слоя стенки желудка или кишечника, в некоторых случаях отмечали отсутствие дифференциации слоев органа, сопровождающееся увеличением размера, снижением эхогенности и гетерогенностью эхоструктуры лимфоузлов [6] (рис. 1).

Рис. 1. Ультразвуковые признаки алиментарной лимфомы у кошек: а — очаговое утолщение стенки желудка с отсутствием дифференциации слоев), b — значительное утолщение стенки сегмента тощей кишки с отсутствием дифференциации слоев, c — утолщение мышечного слоя тощей кишки, d — утолщение мышечного слоя подвздошной кишки, e — увеличение и снижение эхогенности мезентерального лимфоузла (более вероятен лимфаденит) в сочетании с утолщением мышечного слоя тощей кишки; f — увеличение, изменение формы и неоднородная эхоструктура подвздошного лимфоузла.

Fig. 1. Ultrasonic signs of alimentary lymphoma in cats: a — focal thickening of the gastric wall with no differentiation of layers), b — significant thickening of the jejunal segment wall with no differentiation of layers, c — thickening of the muscular layer of the jejunum, d — thickening of the muscular layer of the ileum, e — enlargement and decrease in echogenicity of the mesenteric lymph node (lymphadenitis is more likely) in combination with thickening of the muscular layer of the jejunum; f — enlargement, change in shape, and heterogeneous echostructure of the iliac lymph node.



² См.: Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях; Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ.

Для подтверждения диагноза алиментарной лимфомы и определения степени злокачественности опухолевого процесса выполняли патоморфологическое исследование образцов ткани, взятых из пораженного участка.

Морфологическим признаком круглоклеточной лимфомы являлась диффузная инфильтрация ткани мономорфными лимфоидными клетками округлой и неправильной формы [12] (рис. 2, 3).

Оценка морфологического состава крови больных животных не является специфическим исследованием в диагностике вирусной лейкемии или алиментарной лимфомы кошек, однако способствует выявлению сопутствующих изменений кровеносной и лимфатической системы [13].

Следует подчеркнуть, что сочетание сонографических признаков лимфопролиферативной патологии алиментарного тракта с обнаружением

более 20% от общего числа лейкоцитов в мазке крови может указывать на острый лейкоз и быть признаком лейкемизации лимфомы (V стадия) [14, 15], что служит маркером метастатического поражения костного мозга при наличии первичного опухолевого очага (рис. 4).

В свою очередь, при выявлении умеренного повышения числа бластных клеток (менее 20% от общего числа лейкоцитов) требуется проведение дополнительной диагностики — патоморфологического исследования костного мозга для установления точной причины данного состояния. Такое умеренное повышение может соответствовать миелодиспластическому синдрому с избытком бластов — спонтанно индуцированной патологии костного мозга, которая способна развиваться независимо от вирусных или онкологических процессов (рис. 5).

Рис. 2. Патоморфологическое исследование пунктата измененного сегмента тощей кишки кошки: мономорфные лимфоидные клетки округлой и неправильной формы (указаны стрелкой), наблюдаемая картина характерна для крупноклеточной лимфомы. Увеличение окуляр x10, объектив x100. Метод окраски гематоксилином и эозином.

Fig. 2. Pathomorphological study of a punctate from an altered segment of a cat's jejunum: (indicated by an arrow), the observed pattern is characteristic of large cell lymphoma. Magnification: eyepiece x10, objective x100. Hematoxylin and eosin staining method.

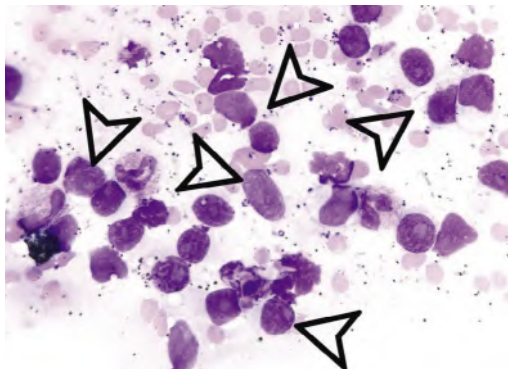


Рис. 3. Патоморфологическое исследование фрагмента стенки желудка кошки: диффузная инфильтрация мономорфными лимфоидными клетками (указаны стрелкой), наблюдаемая картина характерна для крупноклеточной лимфомы. Увеличение окуляр x10, объектив x100. Метод окраски гематоксилином и эозином.

Fig. 3. Pathomorphological study of a fragment of a cat's stomach wall: diffuse infiltration of monomorphic lymphoid cells (indicated by the arrow), the observed pattern is characteristic of large cell lymphoma. Magnification: eyepiece x10, objective x100. Hematoxylin and eosin staining method.

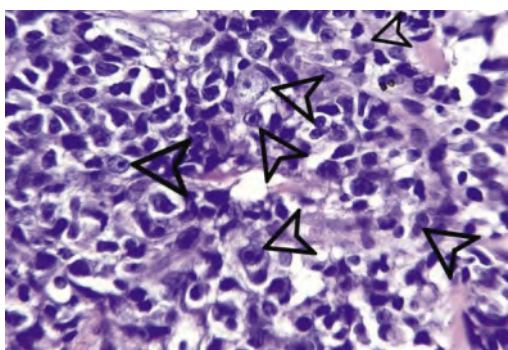


Рис. 4. Цитологическое исследование крови кошки: значительное увеличение количества бластов (указано стрелкой), наблюдаемая картина характерна для острого лимфобластного лейкоза. Увеличение окуляр x10, объектив x100. Метод окраски по Паппенгейму.

Fig. 4. Cytological examination of a cat's blood: a significant increase in the number of blasts (indicated by the arrow), which is characteristic of acute lymphoblastic leukemia. Magnification: eyepiece x10, objective x100. Pappenheim staining method.

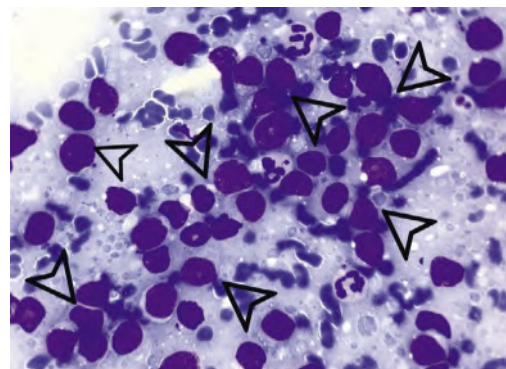
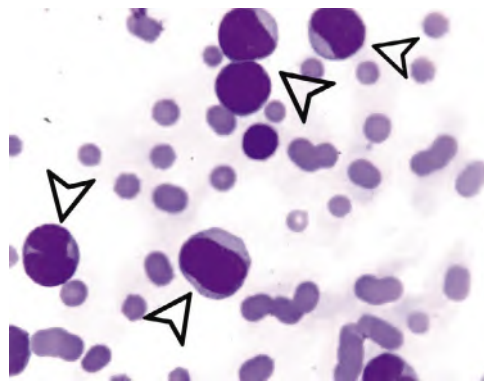


Рис. 5. Цитологическое исследование крови кошки: умеренное увеличение количества бластов (указано стрелкой), наблюдаемая картина характерна для миелодиспластического синдрома. Увеличение окуляр x10, объектив x100. Метод окраски по Паппенгейму.

Fig. 5. Cytological examination of a cat's blood: a moderate increase in the number of blasts (indicated by the arrow), which is characteristic of myelodysplastic syndrome. Magnification: eyepiece x10, objective x100. Pappenheim staining method.



Таким образом, результаты морфологического анализа крови играют определяющую роль в прогнозировании течения заболевания.

Определение статуса инфицирования вирусом лейкоза у кошек при выявлении алиментарной лимфомы критически важно для прогнозирования исхода заболевания и выбора тактики лечения. Следует учитывать, что информативность методов ПЦР и ИФА существенно зависит от формы течения инфекции [1, 16], что отражено в таблице 1.

В ходе сравнительного анализа информативности лабораторных методов установлено, что ПЦР с детекцией ДНК провируса обладает наибольшей чувствительностью при диагностике FeLV — 46,28% положительных результатов (112 животных). В то же время ПЦР с детекцией РНК вируса и ИФА демонстрируют идентичные показатели — 35,54% положительных результатов FeLV (86 кошек), что статистически отражает их ограниченную диагностическую ценность вне фазы активной вирусной репликации, то есть при регрессивной форме течения [17].

По результатам систематизации данных сонографического исследования брюшной полости кошек признаки алиментарной лимфомы были выявлена во всех отделах пищеварительного канала за исключением толстого отдела кишечника (табл. 2).

Исходя из полученных результатов исследования, следует сделать вывод о высокой распространенности вируса лейкоза среди кошек с алиментарной лимфомой 41,32% (112 из 242 животных), что подчеркивает значимость вирусного фактора в развитии данной патологии. Преобладающей локализацией алиментарной лимфомы является тощая кишка (50,41% случаев, 122 кошки), в том числе при ассоциации данной неоплазии с вирусом FeLV (23,61% от всех случаев, 64 кошки). Это может быть связано с высокой плотностью лимфоидной ткани и протяженностью данного отдела кишечника. Промежуточные показатели по частоте поражения и ассоциации с FeLV наблюдаются при сочетанном поражении желудка и тощей кишки (23,55% случаев, 57 кошек; из которых 6,27% случаев ассоциированы с FeLV, 17 кошек) и при поражении подвздошной кишки (16,12% случаев, 39 кошек; из которых 6,64% случаев ассоциированы с FeLV, 18 кошек). Наименьшая частота возникновения лимфомы зафиксирована при изолированном поражении желудка: 9,92% случаев (24 кошки), в частности при ее ассоциации с FeLV (4,80% случаев, 13 кошек).

Таблица 1. Сравнительная характеристика результатов ПЦР-диагностики (РНК и ДНК провируса) и ИФА при выявлении вируса лейкоза кошек (FeLV) у, n = 242.

Table 1. Comparative analysis of PCR (RNA and provirus DNA) and ELISA results in detecting feline leukemia virus (FeLV) in cats, n = 242.

Методика исследования	Положительный результат		Отрицательный результат	
	Количество животных (абс. знач.)	Количество животных (отн. знач., %)	Количество животных (абс. знач.)	Количество животных (отн. знач., %)
ПЦР (РНК вируса)	86,00	35,54	156,00	64,46
ПЦР (ДНК провируса)	112,00	46,28	130,00	53,72
ИФА (белок р27)	86,00	35,54	156,00	64,46

Таблица 2. Результаты анализа локализации и инцидентности алиментарной лимфомы, ассоциированной с вирусом FeLV у кошек, n = 242

Table 2. Results of the analysis of the localization and incidence of alimentary lymphoma associated with the FeLV virus in cats, n = 242

Локализация	Общее количество обследованных животных		Количество животных с положительным FeLV статусом	
	Количество животных (абс. знач.)	Количество животных (отн. знач., %)	Количество животных (абс. знач.)	Количество животных (отн. знач., %)
Желудок	24,00	9,92	13,00	4,80
Желудок и тощая кишка	57,00	23,55	17,00	6,27
Тощая кишка	122,00	50,41	64,00	23,61
Подвздошная кишка	39,00	16,12	18,00	6,64
всего	242,00	100,00	112,00	41,32

Расчет показателей инцидентности алиментарных лимфом среди кошек, инфицированных вирусом FeLV, в зависимости от возрастной принадлежности необходим для стратификации риска развития данной онкопатологии (табл. 3).

Результаты оценки инцидентности алиментарной лимфомы, ассоциированной с FeLV, выявили четкую возрастную зависимость: подавляющее большинство случаев — 63,39% (71 кошка) зафиксировано в возрастной группе 1–4 лет, что может быть связано с высокой вероятностью инфицирования вирусом лейкоза в молодом возрасте и последующим развитием опухолевого процесса в пищеварительном канале [18].

Значительное число случаев (28,57%, 32 кошки) отмечено в группе животных 4–8 лет. Наименьший риск развития вирус-ассоциированной

Таблица 3. Частота встречаемости алиментарной лимфомы, ассоциированной вирусом лейкоза кошек, в различных возрастных группах, n = 112

Table 3. Incidence of alimentary lymphoma associated with feline leukemia virus in different age groups, n = 112

Возраст	Количество животных (абс. знач.)	Количество животных (отн. знач., %)
3,5–12 месяцев	1,00	0,89
1–4 года	71,00	63,39
4–8 лет	32,00	28,57
Старше 8 лет	8,00	7,14

лимфомы наблюдается у животных старше 8 лет (7,14%, 8 кошек), что может быть связано со снижением продолжительности жизни инфицированных особей или меньшей восприимчивостью к опухолевой трансформации в старшем возрасте. Единичный случай у котенка 3,5 месяцев подтверждает возможность манифестации на ранних стадиях онтогенеза.

Алиментарная лимфома кошек, ассоциированная с вирусом лейкоза, была выявлена в 46,28% случаев лимфом пищеварительного канала. Данные результаты разнятся со статистикой европейских стран, в которых вирус-ассоциированная онкопатология встречается менее чем в 30% случаев [6] или не зарегистрирована вовсе [8].

Высокий риск развития лимфомы алиментарного тракта как осложнение течения вирусной лейкемии в данном исследовании свидетельствует о высокой распространенности этого ретровируса в популяции кошек, причиной которой, по-видимому, является отсутствие профилактических мероприятий, направленных на снижение инцидентности вирусной инфекции FeLV в регионе.

Выявлена четкая возрастная зависимость частоты развития алиментарной лимфомы, ассоциированной с вирусом FeLV, в возрастной группе 1–4 лет, которая составила 63,39% случаев, что может быть связано с высокой вероятностью инфицирования вирусом лейкоза в молодом возрасте и последующим развитием опухолевого процесса в пищеварительном канале. Полученные данные согласуются со статистикой различных стран [5, 6].

Выводы/Conclusions

В ходе проспективного исследования, охватившего период с 2020 по 2025 гг., установлено, что частота выявления вируса лейкоза кошек (FeLV) у животных с морфологически подтвержденной алиментарной лимфомой составляет 41,32% (112 из 242 случаев). Полученное значение свидетельствует о заметной распространенности вирус-ассоциированной формы онкопатологии в изученной популяции, позволяет предположить, что инфицирование FeLV может рассматриваться в качестве значимого фактора риска развития лимфопролиферативных процессов в желудочно-кишечном тракте.

Анализ возрастной структуры и локализации новообразований показал, что наиболее уязвимой группой являются кошки в возрасте от 1 до 4 лет, на долю которых приходится 63,39% всех случаев вирус-ассоциированной алиментарной лимфомы, тогда как у животных старше 8 лет подобные изменения регистрируются существенно реже (7,14%). Преобладающей локализацией опухолевого процесса признана тощая кишка, вовлеченная в 50,41% случаев от общего числа алиментарных лимфом, что, вероятно, объясняется высокой концентрацией лимфоидной ткани в данном отделе кишечника. Полученные данные могут быть использованы для формирования групп риска и разработки адресных диагностических и профилактических мероприятий среди FeLV-инфицированных кошек.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Beall M.J. *et al.* Feline Leukemia Virus p27 Antigen Concentration and Proviral DNA Load Are Associated with Survival in Naturally Infected Cats. *Viruses*. 2021; 13(2): 302. <https://doi.org/10.3390/v13020302>
2. Stützer B. *et al.* Incidence of persistent viraemia and latent feline leukaemia virus infection in cats with lymphoma. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2011; 13(2): 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2010.09.015>
3. Sato H. *et al.* Prognostic Analyses on Anatomical and Morphological Classification of Feline Lymphoma. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2014; 76(6): 807–811. <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0260>
4. Вильмис Д.А., Меликова Ю.Н., Чечнева А.В. Ретроспективный анализ данных о распространенности злокачественных новообразований у собак и кошек. *Аграрная наука*. 2024; (8): 40–45. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-40-45>
5. Weijer K., UytdeHaag F., Osterhaus A.D. Feline leukemia virus (FeLV) and FeLV-associated diseases in cats: a review. *Tijdschrift voor diergeneeskunde*. 1987; 112(12): 726–737 (на нидерланд. яз.).
6. Barrs V., Beatty J. Feline alimentary lymphoma: 1. Classification, risk factors, clinical signs and non-invasive diagnostics. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2012; 14(3): 182–190. <https://doi.org/10.1177/1098612X12439265>
7. Cattori V., Weibel B., Lutz H. Inhibition of Feline leukemia virus replication by the integrase inhibitor Raltegravir. *Veterinary Microbiology*. 2011; 152(1–2): 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2011.03.039>

REFERENCES

1. Beall M.J. *et al.* Feline Leukemia Virus p27 Antigen Concentration and Proviral DNA Load Are Associated with Survival in Naturally Infected Cats. *Viruses*. 2021; 13(2): 302. <https://doi.org/10.3390/v13020302>
2. Stützer B. *et al.* Incidence of persistent viraemia and latent feline leukaemia virus infection in cats with lymphoma. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2011; 13(2): 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.jfms.2010.09.015>
3. Sato H. *et al.* Prognostic Analyses on Anatomical and Morphological Classification of Feline Lymphoma. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2014; 76(6): 807–811. <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0260>
4. Vilms D.A., Melikova J.N., Chechneva A.V. Retrospective analysis of data on the prevalence of malignant neoplasms in dogs and cats. *Agrarian science*. 2024; (8): 40–45 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-40-45>
5. Weijer K., UytdeHaag F., Osterhaus A.D. Feline leukemia virus (FeLV) and FeLV-associated diseases in cats: a review. *Tijdschrift voor diergeneeskunde*. 1987; 112(12): 726–737 (in Dutch).
6. Barrs V., Beatty J. Feline alimentary lymphoma: 1. Classification, risk factors, clinical signs and non-invasive diagnostics. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2012; 14(3): 182–190. <https://doi.org/10.1177/1098612X12439265>
7. Cattori V., Weibel B., Lutz H. Inhibition of Feline leukemia virus replication by the integrase inhibitor Raltegravir. *Veterinary Microbiology*. 2011; 152(1–2): 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2011.03.039>

8. Зенченко А.П., Макаров В.В. Вирусная лейкемия кошек как проблема современной ветеринарии: обзор литературы. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (6): 32–38. EDN BCYNFS
9. Зенченко А.П. Исследование эффективности Ралтегравира («Исентресс» MSD, США) при регенеративной анемии, ассоциированной с вирусной лейкемией кошек. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (6): 47–53. EDN ENDDMA
10. Hofmann-Lehmann R., Hartmann K. Feline leukaemia virus infection: A practical approach to diagnosis. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2020; 22(9): 831–846. <https://doi.org/10.1177/1098612X20941785>
11. Ленкова Н.В., Бабкина Т.Н., Вольф А.В. Ультрасонографические и патоморфологические изменения при алиментарной лимфоме у кошек. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2022; (4): 132–139. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-132-139>
12. Митрохина Н.В., Сотникова Л.Ф. Роль гистогенетических признаков опухолевых клеток в морфологической диагностике лимфомы у кошек. *Международный вестник ветеринарии*. 2025; (3): 555–562. EDN FETONX
13. Булаковская О.А., Коломиец С.Н. Диагностика морфологических нарушений в костном мозге при вирусной лейкемии кошек. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2024; (2): 74–80. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-232-2-74-80>
14. Shirani D., Nassiri S.M., Aldavood S.J., Seddigh H.S., Fathi E. Acute erythroid leukemia with multilineage dysplasia in a cat. *The Canadian Veterinary Journal*. 2011; 52(4): 389–393.
15. Blue J.T., French T.W., Kranz J.S. Non-lymphoid hematopoietic neoplasia in cats: a retrospective study of 60 cases. *The Cornell Veterinarian*. 1988; 78(1): 21–42.
16. McLuckie A.J., Barrs V.R., Lindsay S., Aghazadeh M., Sangster C., Beatty J.A. Molecular Diagnosis of *Felis catus* Gammaherpesvirus 1 (FcaGHV1) Infection in Cats of Known Retrovirus Status with and without Lymphoma. *Viruses*. 2018; 10(3): 128. <https://doi.org/10.3390/v10030128>
17. Ho C.-F. et al. Development of a multiplex amplification refractory mutation system reverse transcription polymerase chain reaction assay for the differential diagnosis of Feline leukemia virus vaccine and wild strains. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2014; 26(4): 496–506. <https://doi.org/10.1177/1040638714534850>
18. Biezu G. et al. Prevalence of and factors associated with feline leukemia virus (FeLV) and feline immunodeficiency virus (FIV) in cats of the state of Santa Catarina, Brazil. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2019; 63: 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2018.12.004>
8. Zenchenkova A. P., Makarov V. V. Feline viral leukemia as a problem of current veterinary medicine: a literature review. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2020; (6): 32–38 (in Russian). EDN BCYNFS
9. Zenchenkova A. P. A study of the effectiveness of Raltegravir (Isentress, MSD, USA) in regenerative anemia associated with feline viral leukemia. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2021; (6): 47–53 (in Russian). EDN ENDDMA
10. Hofmann-Lehmann R., Hartmann K. Feline leukaemia virus infection: A practical approach to diagnosis. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2020; 22(9): 831–846. <https://doi.org/10.1177/1098612X20941785>
13. Lenkova N.V., Babkina T.N., Wolf A.V. Ultrasonographic and pathomorphological changes in Alimentary Lymphoma in cats. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022; (4): 132–139 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-132-139>
14. Mitrokhina N.V., Sotnikova L.F. The role of histogenetic features of tumor cells in the morphological diagnosis of lymphoma in fashions. *International bulletin of veterinary medicine*. 2025; (3): 555–562 (in Russian). EDN FETONX
15. Bulakovskaya O., Kolomiets S. Diagnosis of morphological disorders in the bone marrow in case of feline viral leukemia. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2024; (2): 74–80 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-232-2-74-80>
14. Shirani D., Nassiri S.M., Aldavood S.J., Seddigh H.S., Fathi E. Acute erythroid leukemia with multilineage dysplasia in a cat. *The Canadian Veterinary Journal*. 2011; 52(4): 389–393.
15. Blue J.T., French T.W., Kranz J.S. Non-lymphoid hematopoietic neoplasia in cats: a retrospective study of 60 cases. *The Cornell Veterinarian*. 1988; 78(1): 21–42.
16. McLuckie A.J., Barrs V.R., Lindsay S., Aghazadeh M., Sangster C., Beatty J.A. Molecular Diagnosis of *Felis catus* Gammaherpesvirus 1 (FcaGHV1) Infection in Cats of Known Retrovirus Status with and without Lymphoma. *Viruses*. 2018; 10(3): 128. <https://doi.org/10.3390/v10030128>
17. Ho C.-F. et al. Development of a multiplex amplification refractory mutation system reverse transcription polymerase chain reaction assay for the differential diagnosis of Feline leukemia virus vaccine and wild strains. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2014; 26(4): 496–506. <https://doi.org/10.1177/1040638714534850>
18. Biezu G. et al. Prevalence of and factors associated with feline leukemia virus (FeLV) and feline immunodeficiency virus (FIV) in cats of the state of Santa Catarina, Brazil. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2019; 63: 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2018.12.004>

ОБ АВТОРАХ

Оксана Андреевна Булаковская¹

аспирант

bulakovskaya-oksana2@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-9362-0529>

Светлана Юрьевна Концевая²

доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой «Ветеринарная интернатура»

vetprof555@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3912-1590>

¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),

Волоколамское шоссе, 11 Москва, 125080, Россия

²Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, 344003, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Oksana Andreevna Bulakovskaya¹

Post graduate student

bulakovskaya-oksana2@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0001-9362-0529>

Svetlana Yurievna Kontsevaya²

Doctor of Veterinary Sciences, Professor Head of the Department of Veterinary Internship

vetprof555@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3912-1590>

¹Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), 11 Volokolamskoye highway, Moscow, 125080, Russia

²Don State Technical University, 1 Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, Russia

УДК 636.4.082.265

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-33-40

С.А. Гриценко¹А.А. Белооков¹ ✉М.Б. Ребезов^{2,3}С.М. Ермолов¹М.Д. Гриценко¹

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ belookov@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.12.2025

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Гриценко С.А., Белооков А.А.,
Ребезов М.Б., Ермолов С.М., Гриценко М.Д.

Зависимость уровня производственной статусности свиней и биохимических показателей крови

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В условиях современного промышленного свиноводства повышение эффективности селекционной работы требует перехода от визуальной оценки к использованию объективных физиологических критериев.

Методы. Опытные популяции свиноматок материнской породы (4-й опорос) и хряков-производителей первой отцовской породы были распределены на 3 группы: ведущая группа (В), посредственная группа (П), товарная группа (Т).

По результатам скрещивания материнской породы и первой отцовской породы было получено потомство F1, в зависимости от производственного статуса матерей (ВМ, ПМ, ТМ), из общего поголовья которых было отобрано по 12 свинок и хрячков. В ходе выполнения исследований был изучен ряд биохимических показателей крови подопытных животных, а именно лактатдегидрогеназа (ЛДГ), общий белок, мочевины, аланинаминотрансфераза (АлАТ), аспартатаминотрансфераза (АсАТ).

Результаты. Установлено, что производственная статусность оказывает системное влияние на метаболический профиль. Свиноматки ведущей группы демонстрировали признаки интенсивного белкового обмена. Наиболее значимые различия выявлены у новорожденных сыновей: потомство от маток ведущей группы характеризовалось самым высоким уровнем общего белка и минимальными признаками родового стресса (низкие ЛДГ и АсАТ). Обнаружен половой диморфизм в выраженности исследуемых признаков. Следовательно, биохимические показатели крови, в частности комплекс ЛДГ, АсАТ, общий белок и мочевины, являются информативными маркерами, объективно отражающими уровень метаболической адаптации и качество внутриутробного развития потомства.

Ключевые слова: производственный статус, биохимические показатели крови, селекция, свиноматки, межпородные гибриды

Для цитирования: Гриценко С.А., Белооков А.А., Ребезов М.Б., Ермолов С.М., Гриценко М.Д. Зависимость уровня производственной статусности свиней и биохимических показателей крови. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 33–40.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-33-40>

Scientific article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-33-40

Svetlana A. Gritsenko¹Alexey A. Belookov¹ ✉Maksim B. Rebezov^{2,3}Sergey M. Ermolov¹Mikhail D. Gritsenko¹

¹South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

²Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ belookov@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.12.2025

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Gritsenko S.A., Belookov A.A.,
Rebezov M.B., Ermolov S.M., Gritsenko M.D.

Relationship between production status and blood biochemical parameters in pigs

ABSTRACT

Relevance. In the context of modern industrial pig farming, increasing the efficiency of breeding requires a shift from visual assessment to the use of objective physiological criteria.

Methods. Experimental populations of maternal sows (parity 4) and sire boars of the first paternal breed were divided into three groups: leading group (L), intermediate group (I), and commercial group (C). From crossing the maternal breed with the first paternal breed, F1 offspring were obtained depending on the production status of the mothers (VM, PM, TM). Fifteen gilts and boars were selected from the total population. During the study, we analyzed a number of blood biochemical parameters in the experimental animals, namely lactate dehydrogenase (LDH), total protein, urea, alanine aminotransferase (ALT), and aspartate aminotransferase (AST).

Results. It has been established that industrial status has a systemic effect on the metabolic profile. The sows of the leading group showed signs of intensive protein metabolism. The most significant differences were found in newborn sons: offspring from the queens of the leading group were characterized by the highest levels of total protein and minimal signs of birth stress (low LDH and AST). Sexual dimorphism was found in the severity of the studied features. Consequently, blood biochemical parameters, in particular the LDH, AST, total protein and urea complex, are informative markers that objectively reflect the level of metabolic adaptation and the quality of intrauterine development of offspring.

Key words: production status, biochemical parameters of blood, breeding, sows, crossbred offspring

For citation: Gritsenko S.A., Belookov A.A., Rebezov M.B., Ermolov S.M., Gritsenko M.D. Relationship between production status and blood biochemical parameters in pigs. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 33–40 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-33-40>

Введение/Introduction

Свиноводство в России — динамично развивающаяся отрасль, достигшая в последние годы полной самообеспеченности и вышедшая на международный рынок.

В 2024 г. производство свинины в индустриальном секторе прогнозируемо выросло почти на 250 тыс. т в живой массе, или на 4,4%. Россия входит в ТОП-5 мировых производителей свинины [1–4].

Одним из резервов дальнейшего повышения продуктивности свиней является целенаправленное селекционное улучшение стада, основу которого составляют научно обоснованный отбор лучших животных и подбор родительских пар для получения следующего поколения [5–7].

Начиная со второй половины XX века, селекционная работа с применением генетических методов была сосредоточена на интенсивном улучшении продуктивности ограниченного числа пород (крупная белая, дюрок, ландрас, йоркшир) [8, 9].

На современном этапе селекционной работы уже недостаточно простой визуальной оценки поголовья животных, сейчас селекционная работа должна основываться на комплексной оценке животных по целому ряду фенотипических показателей, экстерьерных и интерьерных [5, 6, 10–14]. Приоритетной задачей является интенсификация работ по установлению нормативных диапазонов для основных биохимических параметров крови у товарных гибридных свиней [5, 8].

Важность оценки физиологического и биохимического статуса обусловлена тем, что средние значения параметров по популяции формируют базис для дальнейшего мониторинга в племенных хозяйствах [13, 15–17].

Для оценки физиологического и биохимического статуса и здоровья животных, безопасности и качества мясной продукции необходимо изучать комплекс биохимических и гематологических, антиоксидантных и «зоотехнических» показателей [15, 18, 19].

Будучи ключевой средой организма, кровь осуществляет питательную, дыхательную, защитную, регуляторную и другие функции.

Ввиду ее первостепенного значения для метаболизма, анализ крови служит инструментом для оценки уровня обмена веществ, определяющего рост, развитие и продуктивные качества животных [19–21].

Целью исследования было установить собственные биохимические показатели крови и

показатели крови помесного потомства первого поколения (F1) свиноматок материнской породы (4-й опорос) разного уровня производственной статусности.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены в 2025 году при поддержке гранта Российского научного фонда № 25-26-20017 на базе ОСП СК «Ромкор» (Троицкий район, Челябинская область, Россия).

Кормление и содержание подопытных животных были идентичными.

Уход за животными соответствовал санитарно-гигиеническим и зоотехническим требованиям (ГОСТ 28839-2017¹).

Испытуемые животные были клинически здоровы.

Для получения потомства F1 от свиноматок материнской породы перед подбором родительских пар была проведена оценка поголовья свиноматок и хряков-производителей, в зависимости от разработанных авторами градаций по установленным в процессе корреляционного анализа и линейностей связей, значимым признакам животных.

Для автоматизации оценки производственного статуса животных была разработана Программа ЭВМ².

Предложено ввести три уровня условной производственной статусности² животных:

В	→	ведущая группа
П	→	посредственная группа
Т	→	товарная группа

Распределение свиноматок и хряков-производителей по производственным группам проводилось при использовании разработанной авторами программы ЭВМ — Microsoft Office Excel — Верификатор производственного статуса продуктивных животных и птицы (ZooStatus)³.

Опытные популяции свиноматок материнской породы (4-й опорос) и хряков-производителей первой отцовской породы были распределены на 3 группы: ведущая группа (В), посредственная группа (П), товарная группа (Т).

По результатам скрещивания материнской породы и первой отцовской породы было получено потомство F1, в зависимости от производственного статуса матерей (ВМ, ПМ, ТМ), из общего поголовья которого было отобрано по 12 свинок и хрячков.

В ходе выполнения исследований был изучен ряд биохимических показателей крови подопытных

¹ ГОСТ 28839-2017 Животные сельскохозяйственные. Свиньи. Зоотехнические требования к содержанию на откорме

² В рамках выполнения гранта РНФ по теме: «Разработка научно-методических подходов селекционной работы с чистопородным и товарным поголовьем в промышленном свиноводстве с применением цифровых технологий». — Для отбора животных авторами настоящей публикации предложен термин «производственный статус» («производственная статусность») животных. На основании корреляционного анализа, установления линейностей связей, именно в данной популяции при проведении настоящих исследований были определены основные признаки отбора: длина туловища; обхват груди; возраст достижения живой массы 100 кг; балл по бонитировке. Были также определены градации признаков, предложенных для отбора: границы вариальности (верификации) — min и max). Для разработки границ верификации мы применяли стандарт породы.

³ ЭВМ — Microsoft Office Excel — Верификатор производственного статуса продуктивных животных и птицы (ZooStatus) Гриценко С.А. (РФ. Заявка на гос. регистрацию программы ЭВМ № 2025686812/69, от 14.10.2025)

животных, а именно лактатдегидрогеназа (ЛДГ), общий белок, мочевины, аланинаминотрансфераза (АлАТ), аспартатаминотрансфераза (АсАТ) (BioELAB AS-280, KHP).

Выбор данных гематологических показателей не случаен, они являются основными «маркерами» обменных процессов в организме животных.

В частности:

- ЛДГ + АсАТ в комплексе — главные маркеры стресса и мышечных повреждений, критически важные для контроля состояния при транспортировке и на откорме;

- мочевины + общий белок — отражают уровень сбалансированности рациона по белку и энергии, а также работу печени и почек;

- АлАТ + АсАТ в сравнении помогают дифференцировать проблемы с печенью от проблем с мышцами.

Для определения биохимических показателей крови пользовались следующими методами:

- активность ферментов ЛДГ, АлАТ, АсАТ — по методу Райтмана-Френкеля⁴;

- мочевины — по методу Мишона и Арно⁵;

- общий белок — рефрактометрическим методом⁶.

Референтные интервалы для взрослых свиноматок:

- ✓ общий белок 60–80 г/л,
- ✓ мочевины 3,0–6,5 ммоль/л,
- ✓ ЛДГ 450–750 Ед/л.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, использующихся для научных целей (Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях⁷ и принципам обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ N 498-ФЗ (Федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»)⁸.

Статистическую обработку проводили с использованием пакета SPSS 26.0 (IBM, США). Достоверность различий между группами оценивали по t-критерию Стьюдента для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $P \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Все средние значения биохимических показателей крови свиней находились в пределах референтных границ (таблица 1).

Анализ активности фермента ЛДГ показал, что данный показатель в ведущей (580,08 Ед/л) и товарной (580,57 Ед/л) группах был практически идентичным и выше, чем в посредственной группе на 6,0 и 6,1%.

Наибольший уровень общего белка отмечен в посредственной группе (71,5 г/л), а наименьший — в ведущей (69,42 г/л), разница составила 3,0%.

В ведущей группе (4,38 ммоль/л) наблюдался наибольший уровень мочевины, а в посредственной и товарной группах этот показатель был ниже на 14,4 и 11,4% соответственно.

Наблюдалась тенденция к более высокому уровню мочевины у свиноматок ведущей группы при более низком содержании общего белка, что может указывать на некоторое напряжение белкового обмена, однако для подтверждения требуются дополнительные исследования.

Активность ферментов АсАТ и АлАТ была стабильна и не имела клинически значимых различий между группами.

Это свидетельствует о хорошей адаптации всех групп животных к производственным нагрузкам к 4-му опоросу.

Таким образом, у свиноматок биохимический профиль крови отражает не столько исходный генетический потенциал, сколько уровень метаболической адаптации к хронической производственной нагрузке.

Выявленные особенности указывают на то, что высокая продуктивность может достигаться за счет напряжения обменных процессов, что требует управленческих решений для поддержания здоровья и долголетия лучших животных.

Установлено, что средние значения показателей крови находились в пределах ожидаемых референтных границ для новорожденных поросят (таблица 2).

По результатам исследований выявлены статистически достоверные различия по активности в крови фермента ЛДГ.

Так, у дочерей посредственной группы (733,22 Ед/л) был отмечен максимальный уровень ЛДГ, а минимальный — в товарной (491,0 Ед/л) группе, разница составила 49,3%. Вероятно, что высокий уровень ЛДГ у поросят посредственной

⁴ Камышников В.С. Клинико — биохимическая лабораторная диагностика : Справ. : В 2 т. Минск : Интерпрессервис, 2003.

⁵ Н.В. Курилов и др. Изучение пищеварения у жвачных : Методические указания. Боровск : ВНИИ физиологии, биохимии и питания с.-х. животных, 1979; 140 с.

⁶ Кондрахин И.П. и др. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики Справочник. М.: КолосС, 2004; 519 с.

⁷ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях (URL: https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf)

⁸ Федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

⁹ Свиноматки отобраны по данным 4-го опроса (в опыте 5-й опрос)

Таблица 1. Показатели крови свиноматок (4-й опорос)9 различного уровня производственной статусности, n = 12

Table 1. Blood values of sows (4th farrowing) depending on their level of production status, n = 12

Показатель	$X \pm m_x$	Мода, Мо	Медиана, Ме	Сравнение X, Мо, Ме ↓	Cv, %
В					
ЛДГ, Ед/л	580,08 ± 22,45	580,00	580,00		13,41
Мочевина, ммоль/л	4,38 ± 0,18	4,10	4,15		14,06
Общий белок, г/л	69,42 ± 1,44	70,00	70,00		7,18
АлАТ, Ед/л	40,67 ± 1,13	45,00	41,00		9,63
АсАТ, Ед/л	32,52 ± 1,04	32,80	32,80		11,06
П					
ЛДГ, Ед/л	547,20 ± 14,38	547,20	547,20		9,10
Мочевина, ммоль/л	3,83 ± 0,32	2,50	3,80		29,16
Общий белок, г/л	71,50 ± 1,48	73,00	73,00		7,17
АлАТ, Ед/л	39,92 ± 0,71	38,00	38,50		6,18
АсАТ, Ед/л	36,25 ± 1,83	36,00	36,00		17,49
Т					
ЛДГ, Ед/л	580,57 ± 21,57	580,57	580,57		12,87
Мочевина, ммоль/л	3,93 ± 0,36	3,70	3,75		31,68
Общий белок, г/л	70,91 ± 1,39	67,00	70,96		6,79
АлАТ, Ед/л	39,25 ± 0,84	42,00	39,50		7,46
АсАТ, Ед/л	33,80 ± 1,36	32,00	32,50		13,98
ИТОГО					
ЛДГ, Ед/л	569,28 ± 11,41	547,20	576,00		12,03
Мочевина, ммоль/л	4,04 ± 0,17	3,80	4,05		25,42
Общий белок, г/л	70,61 ± 0,82	73,00	71,50		6,96
АлАТ, Ед/л	39,94 ± 0,52	38,00	39,50		7,82
АсАТ, Ед/л	34,19 ± 0,85	32,00	33,80		14,97

Таблица 2. Показатели крови новорожденных дочерей (F1♀) в зависимости от уровня производственной статусности матерей, n = 12

Table 2. Blood values of newborn daughters (F1♀) of sows (4th farrowing) depending on their level of production status, n = 12

Показатель	$X \pm m_x$	Мода, Мо	Медиана, Ме	Сравнение X, Мо, Ме ↓	Cv, %
ВМ					
ЛДГ, Ед/л	629,75 ± 18,18	629,75	628,88		18,18
Мочевина, ммоль/л	4,52 ± 0,42	5,80	5,15		0,42
Общий белок, г/л	69,50 ± 1,57	67,00	67,50		1,57
АлАТ, Ед/л	35,58 ± 0,81	32,00	36,00		0,81
АсАТ, Ед/л	34,00 ± 0,37	34,00	34,00		0,37
ПМ					
ЛДГ, Ед/л	733,22 ± 61,68	733,22	719,61		29,14
Мочевина, ммоль/л	4,90 ± 0,28	5,60	5,30		19,79
Общий белок, г/л	69,42 ± 1,59	68,00	67,50		7,93
АлАТ, Ед/л	32,75 ± 1,21	36,00	32,50		12,83
АсАТ, Ед/л	42,75 ± 6,36	42,75	38,88		51,50
ТМ					
ЛДГ, Ед/л	491,00 ± 16,46 ***	491,00	491,00		11,61
Мочевина, ммоль/л	4,78 ± 0,29	4,80	4,90		21,17
Общий белок, г/л	71,10 ± 0,96	74,00	71,55		4,70
АлАТ, Ед/л	35,50 ± 2,14	32,00	33,00		20,86
АсАТ, Ед/л	27,50 ± 1,01 ***	28,00	28,00		12,72
ИТОГО					
ЛДГ, Ед/л	617,99 ± 27,26	491,00	589,00		26,46
Мочевина, ммоль/л	4,73 ± 0,19	5,60	5,15		24,08
Общий белок, г/л	70,01 ± 0,80	67,00	69,00		6,85
АлАТ, Ед/л	34,61 ± 0,87	32,00	34,50		15,03
АсАТ, Ед/л	34,75 ± 2,34	34,00	33,00		40,37

Примечание: *** (P ≤ 0,001)

группы может быть вызван перенесенным родовым или внутриутробным стрессом.

По содержанию в сыворотке крови общего белка и мочевины не отмечено статистически значимых различий между группами. Уровень общего белка колеблется в узком диапазоне (69,42–71,10 г/л). Содержание в крови мочевины также было близким у поросят всех групп (4,5–4,9 ммоль/л), но в посредственной и товарной группах наблюдалась высокая вариабельность (20 %) показателя.

Белковый и азотистый статус при рождении у всех поросят сформирован относительно одинаково, несмотря на различия в статусе матерей.

Активность фермента АсАТ колебалась в пределах от 27,5 Ед/л в товарной до 42,75 Ед/л в посредственной группе.

По уровню печеночного фермента (АлАТ) существенных различий между группами не было.

Все биохимические показатели крови сыновей находились в пределах физиологической нормы для новорожденных поросят.

Однако выявлены статистически значимые различия, указывающие на различное качество внутриутробного развития (таблица 3).

По содержанию в крови сыновей лактатдегидрогеназы наблюдалась обратная картина, по сравнению с дочерями. Наименьший уровень ЛДГ отмечен в крови сыновей, полученных от маток ведущей группы (476,22 Ед/л), что достоверно ниже,

чем в товарной на 92,42 Ед/л ($P \leq 0,01$) и посредственной — на 121,0 Ед/л. группах.

По содержанию общего белка в крови поросят выявлена четкая нисходящая градация: ведущая группа — 73,83 г/л, посредственная — 70,75 г/л, товарная — 68,42 г/л. Разница между ведущей и товарной группой была статистически достоверна ($P \leq 0,01$) и составила 7,9%.

Полученные данные свидетельствуют о хорошем плацентарном питании и оптимальном белковом обмене матери во время супоросности. Низкий уровень общего белка у поросят товарной группы указывает на относительный дефицит пластических ресурсов, полученных в утробе, что может ограничивать скорость их дальнейшего роста и развития иммунной системы.

Существенных различий по содержанию в крови поросят мочевины между группами не отмечено.

По активности АлАТ в крови сыновей отмечена достоверная разница между ведущей и товарной группами — 5,8 Ед/л, или 17,7% ($P \leq 0,01$) в пользу молодняка ведущей группы. Посредственная группа занимала промежуточное положение по данному показателю. Более высокая активность АлАТ у сыновей ведущей группы коррелирует с их высоким уровнем общего белка и может отражать более активный белково-синтетический потенциал печени уже при рождении. Снижение этого показателя у поросят товарной группы может

Таблица 3. Показатели крови новорожденных сыновей (F1♂) в зависимости от уровня производственной статусности матерей, n = 12

Table 3. Blood parameters of newborn sons (F1♂) of sows (4th farrowing) depending on their level of production status, n = 12

Показатель	$\bar{X} \pm m_x$	Мода, Мо	Медиана, Ме	Сравнение $\bar{X}$, Мо, Ме	Cv, %
ВМ					
ЛДГ, Ед/л	476,22 ± 25,82	476,22	476,22		18,78
Мочевина, ммоль/л	4,64 ± 0,29	5,30	5,30		21,86
Общий белок, г/л	73,83 ± 1,11	77,00	74,50		5,19
АлАТ, Ед/л	38,17 ± 1,32	36,00	36,50		11,97
АсАТ, Ед/л	27,60 ± 1,29	33,00	27,60		16,22
ПМ					
ЛДГ, Ед/л	588,24 ± 71,40	530,00	538,50		42,05
Мочевина, ммоль/л	4,34 ± 0,27	5,40	4,40		21,28
Общий белок, г/л	70,75 ± 1,01*	69,00	69,50		4,94
АлАТ, Ед/л	35,08 ± 1,23	35,00	35,00		12,12
АсАТ, Ед/л	31,40 ± 2,78	31,40	31,40		30,64
ТМ					
ЛДГ, Ед/л	565,64 ± 19,00**	-	576,50		11,63
Мочевина, ммоль/л	4,22 ± 0,21	4,30	4,35		16,86
Общий белок, г/л	68,42 ± 0,82***	70,00	69,50		4,16
АлАТ, Ед/л	32,42 ± 1,47**	38,00	31,50		15,70
АсАТ, Ед/л	28,45 ± 2,32	23,00	23,50		28,29
ИТОГО					
ЛДГ, Ед/л	543,37 ± 26,62	476,22	552,50		29,39
Мочевина, ммоль/л	4,40 ± 0,15	5,30	4,40		20,12
Общий белок, г/л	71,00 ± 0,67	70,00	70,00		5,64
АлАТ, Ед/л	35,22 ± 0,85	38,00	35,50		14,49
АсАТ, Ед/л	29,15 ± 1,27	21,00	27,80		26,23

Примечание: * ($P \leq 0,05$); ** ($P \leq 0,01$); *** ($P \leq 0,001$)

указывать на некоторую функциональную незрелость или меньшую метаболическую активность печени.

Выводы/Conclusions

На основе проведенного исследования установлены следующие положения:

✓ Производственная статусность системно влияет на метаболический профиль. У свиноматок ведущей группы выявлены признаки интенсивного белкового обмена (наибольший уровень мочевины при несколько более низком уровне общего белка), что может свидетельствовать о высокой продуктивной нагрузке и адаптации к ней.

Наиболее значимые различия, обусловленные статусом матерей, проявляются у новорожденного потомства. Потомство от свиноматок ведущей группы характеризовалось наилучшим белковым статусом (максимальный уровень общего белка у сыновей), что указывает на более благоприятное внутриутробное развитие.

✓ Потомство от маток посредственной группы, по мнению исследователей, продемонстрировало признаки перинатального стресса. У данных поросят зафиксированы высокие и переменные значения ЛДГ и АсАТ, особенно у дочерей.

✓ Обнаружен выраженный половой диморфизм в ответе потомства. Реакция на производственный статус матери различалась у сыновей и дочерей, что необходимо учитывать при селекционной оценке.

✓ Биохимические показатели крови являются хорошими критериями для селекции. Комплекс показателей (ЛДГ, АсАТ, общий белок, мочевина) отражает уровень метаболической адаптации взрослых животных и качество развития потомства, обосновывая целесообразность интеграции биохимического мониторинга в систему оценки ремонтного молодняка.

Таким образом, уровень производственной статусности может оказать влияние на биохимический статус свиней, которое транслируется на следующее поколение.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проведено по теме гранта РНФ «Разработка научно-методических подходов селекционной работы с чистопородным и товарным поголовьем в промышленном свиноводстве с применением цифровых технологий»

FUNDING

The research was conducted under the Russian Science Foundation grant «Development of scientific and methodological approaches to breeding purebred and commercial livestock in industrial pig farming using digital technologies.»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепова И.О., Круглова К.К., Ядровский Е.В., Мозер А.Е. Развитие свиноводства на мировом рынке. *Экономика, финансы и управление: актуальные вопросы теории и практики. Сборник статей VI Международной научно-практической конференции*. Пенза: Наука и Просвещение. 2024; 91–93. EDN RUXXZB
2. Ковалев Ю. Развитие свиноводства: впереди новый этап. *Животноводство России*. 2024; (2): 22–24. EDN LIIMMW
3. Ковалев Ю. Свиноводство 2024–2025: итоги, тренды, ориентиры. *Животноводство России*. 2025; (10): 51–55. EDN ZYTSCQ
4. Кутякова А.А., Плотников К.И., Емельянова В.Г., Черобедов М.В. Развитие свиноводства в условиях интенсификации отрасли: вызовы и перспективы. Актуальные вопросы общества, науки и образования. Сборник статей IX Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение. 2023; 55–57. EDN AMILGP
5. Стволов С.С., Белооков А.А., Белоокова О.В., Гриценко С.А., Ребезов М.Б. Оценка влияния хряков-производителей различной селекции на показатели свиноматок и помесей первого поколения. *Аграрная наука*. 2023; (2): 65–69. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-65-69>
6. Чистяков В.Т. Современное развитие селекции и генетики в отечественном свиноводстве. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018; (4): 71–78. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.4.71>
7. Freking B.A., Lents C.A., Vallet J.L. Selection for uterine capacity improves lifetime productivity of sows. *Animal Reproduction Science*. 2016; 167: 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.01.018>
8. Зайцев С.Ю., Колесник Н.С., Савина А.А., Воронина О.А. Основные биохимические показатели крови свиной породы дюрок в сравнении с их трехпородными гибридами в динамике откорма. *Международный вестник ветеринарии*. 2025; (1): 250–264. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.250>

REFERENCES

1. Cherepova I.O., Kruglova K.K., Yadrovsky E.V., Mozer A.E. Development of pig production in the world market. *Economics, finance and management: current issues of theory and practice. Collection of articles from the VI International scientific and practical conference*. Penza: Nauka i Prosveshcheniye. 2024; 91–93 (in Russian). EDN RUXXZB
2. Kovalyov Yu. Pig production development: a new stage ahead. *Animal Husbandry of Russia*. 2024; (2): 22–24 (in Russian). EDN LIIMMW
3. Kovalyov Yu. Pig production in 2024–2025: results, trends, reference points. *Animal Husbandry of Russia*. 2025; (10): 51–55 (in Russian). EDN ZYTSCQ
4. Kutyakova A.A., Plotnikov K.I., Emelyanova V.G., Cherebedov M.V. Development of pig breeding under conditions of industry intensification: challenges and prospects. *Current issues of society, science and education. Collection of articles of the IX International scientific and practical conference*. Penza: Nauka i Prosveshcheniye. 2023; 55–57 (in Russian). EDN AMILGP
5. Stvolov S.S., Belookov A.A., Belookova O.V., Gritsenko S.A., Rebezov M.B. Assessment of the influence of boars of different breeding on the indicators of sows and first generation mixed. *Agrarian science*. 2023; (2): 65–69 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-65-69>
6. Chistyakov V.T. Modern development of breeding and genetics in the Russian pig breeding. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018; (4): 71–78 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.4.71>
7. Freking B.A., Lents C.A., Vallet J.L. Selection for uterine capacity improves lifetime productivity of sows. *Animal Reproduction Science*. 2016; 167: 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.01.018>
8. Zaitsev S.Yu., Kolesnik N.S., Savina A.A., Voronina O.A. The main biochemical parameters of the blood of Duroc pigs in comparison with their three-breed hybrids in the dynamics of fattening. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2025; (1): 250–264 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2025.1.250>

9. Reyer H., Oster M., Wittenburg D., Murani E., Ponsuksili S., Wimmers K. Genetic Contribution to Variation in Blood Calcium, Phosphorus, and Alkaline Phosphatase Activity in Pigs. *Frontiers in Genetics*. 2019; 10: 590. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00590>
10. Крупина О.В., Хабибуллин И.М., Миронова И.В., Хабибуллин Р.М. Исследование морфологического и биохимического состава крови животных при использовании адаптогенов. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2022; 251: 156–161. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_3_251_156
11. Белооков А.А., Белоокова О.В., Стволов С.С., Гриценко С.А., Ребезов М.Б., Зяблицева М.А. Оценка мясных качеств помесного молодняка свиней разной селекции. *Аграрная наука*. 2023; (4): 70–74. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-70-74>
12. Ghomsi S.O.M. *et al.* Assessment of the digestibility, growth performance, hematological and serum biochemical profile of Bandjock Local Pigs (BLP) and Duroc X Large White pigs (DLW). *Veterinary and Animal Science*. 2024; 25: 100370. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100370>
13. Соколов Н.В., Свистунов А.А. Откормочные и мясные качества свиней при чистопородном разведении и скрещивании. *Эффективное животноводство*. 2016; (8): 14–15. EDN WZJYUJ
14. Храмченко Н.М., Романенко А.В., Невар К.В. Влияние селекционно-генетических параметров на точность индексной оценки (на примере свиноводства). *Зоотехническая наука Беларуси*. 2023; 58(1): 119–129. EDN FRGPTE
15. Zaitsev S.Y., Belous A.A., Voronina O.A., Rykov R.A., Bogolyubova N.V. Correlations between Antioxidant and Biochemical Parameters of Blood Serum of Duroc Breed Pigs. *Animals*. 2021; 11(8): 2400. <https://doi.org/10.3390/ani11082400>
16. Косилов В.И. и др. Убойные качества и морфологический состав туши молодняка свиней разных генотипов. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2024; (1): 249–256. [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_34](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_34)
17. Zhang S. *et al.* Assessment of Hematologic and Biochemical Parameters for Healthy Commercial Pigs in China. *Animals*. 2022; 12(18): 2464. <https://doi.org/10.3390/ani12182464>
18. Boyd J.C. Defining laboratory reference values and decision limits: populations, intervals, and interpretations. *Asian Journal of Andrology*. 2010; 12(1): 83–90. <https://doi.org/10.1038/aja.2009.9>
19. Некрасов Р.В. и др. Биохимический статус и продуктивные качества свиней (*Sus scrofa domestica*) при моделировании стресса и его коррекции. *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(4): 638–659. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.4.638rus>
20. Бальников А. Показатели крови и продуктивность. *Животноводство России*. 2015; (2): 35–37. EDN UIBLVN
21. Бальников А.А., Костомакхин Н.М., Гридюшко И.Ф., Гридюшко Е.С., Мальчевский А.В., Рябцева С.В. Динамика и корреляция гематологических показателей у молодняка свиней различных генотипов. *Главный зоотехник*. 2018; (6): 45–54. EDN XQFGTR
9. Reyer H., Oster M., Wittenburg D., Murani E., Ponsuksili S., Wimmers K. Genetic Contribution to Variation in Blood Calcium, Phosphorus, and Alkaline Phosphatase Activity in Pigs. *Frontiers in Genetics*. 2019; 10: 590. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00590>
10. Krupina O.V., Khabibullin I.M., Mironova I.V., Khabibullin R.M. Study of the morphological and biochemical composition of blood of animals using adaptogens. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2022; 251: 156–161 (in Russian). https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_3_251_156
11. Belookov A.A., Belookova O.V., Stvolov S.S., Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Zyablitseva M.A. Evaluation of meat qualities of crossbred young pigs of different breeding. *Agrarian science*. 2023; (4): 70–74 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-70-74>
12. Ghomsi S.O.M. *et al.* Assessment of the digestibility, growth performance, hematological and serum biochemical profile of Bandjock Local Pigs (BLP) and Duroc X Large White pigs (DLW). *Veterinary and Animal Science*. 2024; 25: 100370. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100370>
13. Sokolov N.V., Svistunov A.A. Fattening and meat qualities of pigs in purebred breeding and crossbreeding. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2016; (8): 14–15 (in Russian). EDN WZJYUJ
14. Khranchanka M.M., Romanenko A.V., Nevar K.V. Influence of selection and genetic parameters on the accuracy of index estimation (by the example of pig breeding). *Zootekhnicheskaya nauka Belarusi*. 2023; 58(1): 119–129 (in Russian). EDN FRGPTE
15. Zaitsev S.Y., Belous A.A., Voronina O.A., Rykov R.A., Bogolyubova N.V. Correlations between Antioxidant and Biochemical Parameters of Blood Serum of Duroc Breed Pigs. *Animals*. 2021; 11(8): 2400. <https://doi.org/10.3390/ani11082400>
16. Kosilov V.I. *et al.* Slaughter qualities and morphological composition of carcasses of young pigs of different genotypes. *Journal of Osh State University. Agriculture: agronomy, veterinary and zootechnics*. 2024; (1): 249–256 (in Russian). [https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1\(6\)_34](https://doi.org/10.52754/16948696_2024_1(6)_34)
17. Zhang S. *et al.* Assessment of Hematologic and Biochemical Parameters for Healthy Commercial Pigs in China. *Animals*. 2022; 12(18): 2464. <https://doi.org/10.3390/ani12182464>
18. Boyd J.C. Defining laboratory reference values and decision limits: populations, intervals, and interpretations. *Asian Journal of Andrology*. 2010; 12(1): 83–90. <https://doi.org/10.1038/aja.2009.9>
19. Nekrasov R.V. *et al.* Biochemical status and productive parameters of pigs (*Sus scrofa domestica*) in modeling stress and its correction. *Agricultural Biology*. 2023; 58(4): 638–659. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.4.638eng>
20. Balnikov A. Blood indicators and productivity. *Animal Husbandry of Russia*. 2015; (2): 35–37 (in Russian). EDN UIBLVN
21. Balnikov A., Kostomakhin N., Gridyushko I., Gridyushko E., Malchevsky A., Ryabtseva S. Dynamics and correlations of hematological parameters in young pigs of different genotypes. *Head of Animal Breeding*. 2018; (6): 45–54 (in Russian). EDN XQFGTR

ОБ АВТОРАХ

Светлана Анатольевна Гриценко¹

доктор биологических наук, доцент, заведующая кафедрой кормления, гигиены животных, технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции
zf.usavm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2334-4925>

Алексей Анатольевич Белооков¹

доктор сельскохозяйственных наук, доцент
belookov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1083-5832>

Максим Борисович Ребезов^{2,3}

- доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник²;
- доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

ABOUT THE AUTHORS

Svetlana Anatolyevna Gritsenko¹

Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Feeding, Animal Hygiene, Production Technology and Processing of Agricultural Products
zf.usavm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2334-4925>

Alexey Anatolyevich Belookov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
belookov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1083-5832>

Maksim Borisovich Rebezov^{2,3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher²;
- Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Сергей Михайлович Ермолов¹

кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры птицеводства
sergey.ermolov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4600-7908>

Михаил Дмитриевич Гриценко¹

студент
miha07448@gmail.com

¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Ю.А. Гагарина 13, Троицк, 457100, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³ Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

Sergey Mikhailovich Ermolov¹

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
of Poultry Farming Department
sergey.ermolov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4600-7908>

Mikhail Dmitrievich Gritsenko¹

Student
miha07448@gmail.com

¹ South Ural State Agrarian University,
13 Gagarin st., Troitsk, 457100, Russia

² Gorbатов Research Center for Food Systems,
26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

³ Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht St., Yekaterinburg, 620075, Russia



У МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВЕТЕРИНАРНЫЙ ФОРУМ ПО СВИНОВОДСТВУ

24–25 июня 2026 г.

К участию в форуме приглашаются ветеринарные и зооинженерные специалисты агропромышленных и свиноводческих комплексов, холдингов и компаний, комбикормовых предприятий, федеральных и региональных органов управления АПК, отечественных и зарубежных фирм-производителей и поставщиков ветеринарных препаратов, представители отраслевых СМИ, ученые НИИ и вузов.

Организаторы:

- Международная промышленная академия
- Национальный союз свиноводов

Основные вопросы для обсуждения:

- Состояние и приоритетные направления в развитии свиноводства в России;
- Эпизоотическая ситуация по особо опасным болезням свиней (ящур, АЧС, КЧС) на территории континента Евразия и в сопредельных с РФ странах. Риски заноса возбудителей и мероприятия по его предотвращению;
- Основные экономически значимые болезни свиней (африканская чума свиней, репродуктивно-респираторный синдром свиней, грипп и некоторые другие), влияющие на эффективность производства;
- Современные программы кормления свиней. Поиск новых решений в кормлении свиней для достижения максимальной реализации генетического потенциала поголовья;
- Методы и приборы контроля качества и безопасности сырья и кормов для свиней;
- Состояние племенной базы в отечественном свиноводстве. Генетический потенциал на текущем этапе, дальнейшие перспективы для роста. Выведение новых линий свиней, устойчивых к основным экономически-значимым болезням;
- Гармонизация правил регистрации и обращения ветеринарных препаратов в странах ЕАЭС (вопросы регулирования евразийского рынка ветпрепаратов) — текущее состояние процесса;
- Новые законодательные акты в ветеринарии, учет животных, маркировка и правила обращения лекарственных средств — что показал первый период использования новых систем.

В рамках форума предусмотрены:

- Выставка отечественных и зарубежных фирм-производителей и поставщиков оборудования для свиноводства и ветеринарных препаратов, отраслевой научно-производственной и нормативно-технической литературы;
- Техническая экскурсия;
- Деловые встречи и переговоры.

Формат проведения:

В комбинированном режиме — офлайн (личное участие) и онлайн (видео-трансляция).

Место проведения:

Международная промышленная академия, 115093, г. Москва, 1-й Щипковский пер., д. 20.

Справки и заявки:

Международная промышленная академия

Зав. кафедрой отраслей животноводства и комбикормового производства, профессор Щербак О.Е.,
тел. (495) 959-71-06, scherbakovaoe@grainfood.ru
Доцент кафедры отраслей животноводства и комбикормового производства Агеева К.М., тел. (499) 235-48-27,
a89057777955@yandex.ru

Декан Карцева О.П., тел. (499) 235-95-79,
dekanat@grainfood.ru

Национальный союз свиноводов:

Главный эксперт по развитию отрасли Аксанын Г.С.,
тел.: (495) 690-53-17, (929) 901-89-49,
next@nssrf.ru

УДК 577.12:616.89-008.441:615.322

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-41-47

П.М. Москвитина

О.Н. Павлова ✉

О.Н. Гуленко

А.В. Чубарова

М.В. Чубарова

А.Ю. Нефедова

Д.И. Хазиахметова

Самарский государственный
медицинский университет
Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Самара,
Россия

✉ casiopeya13@mail.ru

Поступила в редакцию: 28.01.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Москвитина П.М., Павлова О.Н.,
Гуленко О.Н., Чубарова А.В.,
Чубарова М.В., Нефедова А.Ю.,
Хазиахметова Д.И.

Scientific article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-41-47

Polina M. Moskvitina

Olga N. Pavlova ✉

Olga N. Gulenko

Anna V. Chubarova

Maria V. Chubarova

Alexandra Y. Nefedova

Daria I. Khaziakhmetova

Samara State Medical University,
Ministry of Health of the Russian
Federation, Samara, Russia

✉ casiopeya13@mail.ru

Received by the editorial office: 28.01.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Moskvitina P.M., Pavlova O.N.,
Gulenko O.N., Chubarova A.V.,
Chubarova M.V., Nefedova A.Yu.,
Khaziakhmetova D.I.

Исследование перекисного окисления белков в тканях мозга крыс в условиях стресс-индуцированной депрессии при внутрижелудочной нагрузке экстрактом одуванчика лекарственного

РЕЗЮМЕ

Депрессивное расстройство является распространенной проблемой и хронический стресс считается одной из ключевых причин его возникновения. На фоне стресса нарушается баланс окислительно-восстановительных процессов в организме и интенсифицируются процессы перекисного окисления белков в тканях. Цель работы – изучить перекисное окисление белков в тканях мозга крыс в условиях стресс-индуцированной депрессии при внутрижелудочной нагрузке экстрактом одуванчика лекарственного. Исследование проведено на белых крысах в количестве 90 штук. Для моделирования депрессивного состояния использовали модель «социального» стресса в течение 20 суток. Количественное определение продуктов перекисного окисления белков в тканях мозга крыс проводили методом иммуноферментного анализа. Установлено, что на фоне депрессивного состояния у крыс агрессоров и жертв наблюдаются разнонаправленные изменения окислительных модификаций белков в различных структурах мозга и дестабилизация их редокс-потенциала. Терапия депрессивного состояния экстрактом одуванчика лекарственного способствует нормализации окислительно-восстановительных процессов в тканях мозга крыс, снижая амплитуду изменений концентраций спонтанного и Фентон-индуцируемого окисления гидрофильных и гидрофобных аминокислотных остатков.

Ключевые слова: крысы, депрессия, стресс, оксидативный стресс, окисленная модификация белков, мозг, гиппокамп, стриатум, неокортекс, гипоталамус, одуванчик лекарственный

Для цитирования: Москвитина П. и др. Исследование перекисного окисления белков в тканях мозга крыс в условиях стресс-индуцированной депрессии при внутрижелудочной нагрузке экстрактом одуванчика лекарственного. *Аграрная наука*. 2026; 406(05): 41–47.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-41-47>

Study of protein peroxidation in rat brain tissues under conditions of stress-induced depression with intragastric loading of dandelion extract

ABSTRACT

Depressive disorder is a common problem, and chronic stress is considered a key cause. Stress disrupts the body's redox balance and intensifies protein peroxidation in tissues. The aim of this study was to examine protein peroxidation in rat brain tissue during stress-induced depression with intragastric administration of dandelion extract. The study was conducted on 90 white rats. A 20-day social stress model was used to simulate depression. Protein peroxidation products in rat brain tissue were quantified by enzyme-linked immunosorbent assay. It was found that depressive states in aggressor and victim rats exhibit opposite changes in protein oxidative modifications in various brain structures and destabilization of their redox potential. Treatment of depression with dandelion extract promotes the normalization of oxidation-reduction processes in rat brain tissue, reducing the amplitude of changes in the concentrations of spontaneous and Fenton-induced oxidation of hydrophilic and hydrophobic amino acid residues.

Key words: rats, depression, stress, oxidative stress, oxidative modification of proteins, brain, hippocampus, striatum, neocortex, hypothalamus, dandelion

For citation: Moskvitina P. M. *et al.* Study of protein peroxidation in rat brain tissues under conditions of stress-induced depression with intragastric loading of dandelion extract. *Agrarian science*. 2026; 406(05): 41–47 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-41-47>

Введение/Introduction

В настоящее время депрессивное расстройство является весьма распространенной проблемой и регистрируется у более чем 350 миллионов людей по планете, хронический стресс считается одной из ключевых причин его возникновения [1, 2]. Стресс нарушает баланс окислительно-восстановительных процессов в клетке, вызывая оксидативный стресс, сопутствующий различным патологическим состояниям, включая психические расстройства, ускорение старения и деструктивные изменения в разных органах и системах организма [1, 3, 4].

Мозг обладает высокой функциональной и метаболической активностью и поэтому особенно подвержен влиянию оксидативного стресса, который интенсифицирует процессы перекисного окисления белков (ПОБ) и липидов в тканях мозга, что является ключевым механизмом повреждения нейронов активными формами кислорода [5, 6]. Интенсификация этих процессов приводит к образованию карбонильных производных белков, разрушению клеточных мембран, нарушению энергетического обмена в тканях и нейродегенеративным патологиям [7–9].

Согласно последним исследованиям, при окислительном стрессе атаке активными формами кислорода в первую очередь подвергаются мембранные белки, а не липиды, это подтверждено исследованиями Бергельсона, назвавшего данное явление «молекулярной памятью липидов». Согласно его теории, краткосрочные события в белковых молекулах клеточной мембраны влияют на долговременные параметры функционирования липидов мембраны. Когда мембранные белки подвергаются каким-либо воздействиям, они меняют свою конформацию, переходя в так называемое возбужденное состояние, что приводит к изменениям контактов между белками и липидами мембраны, эти изменения состояния липидов сохраняются надолго. Таким образом, «память» липидов обеспечивает усиление сигнала, передаваемого из внешней среды, мембрану клетки [10–12]. Первичность перекисного окисления белков подтверждается существенными изменениями в анулярных липидах при окислительном стрессе [8], что указывает на ведущую роль окислительной модификации белков в деструкции клеточной мембраны.

Установлено, что окислительная модификация белков играет ключевую роль в молекулярных механизмах окислительного стресса и является пусковым механизмом к окислительной деструкции других молекул (липиды, ДНК) клетки [13].

Оптимизация методов лечения депрессии остается важной задачей, несмотря на имеющийся опыт. Современные терапевтические рекомендации в основном являются ориентировочными, поскольку тяжесть депрессивных симптомов коррелирует с ответом на лечение, что подчеркивает необходимость изучения патогенетических

механизмов депрессии и подбора адекватной фармакотерапии.

Эксперименты показывают потенциальную антидепрессантную активность водных экстрактов листьев и корневищ одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), что связано с высоким содержанием таких биологически активных соединений, как изоэтин, гесперидин, нарингенин, кемпферол, синоповая и галловая кислоты, обладающих антиоксидантными и нейропротекторными свойствами [14–16].

Целью исследования стало изучение перекисного окисления белков в тканях мозга крыс в условиях стресс-индуцированной депрессии при внутрижелудочной нагрузке экстрактом одуванчика лекарственного.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент выполнен в виварии кафедры физиологии Самарского государственного медицинского университета в октябре 2025 г.

На проведение исследования получено заключение Этического комитета при Самарском государственном медицинском университете № 187 от 10 октября 2024 г.

Работа проводилась на 120 крысах-самцах линии Wistar шестимесячного возраста, массой 190–200 г из которых были отобраны 90 животных.

Все животные были разделены по принципу рандомизации на 3 группы по 30 крыс в каждой:

- 1 группа — интактные крысы (30 животных);
- 2 группа — животные (15 агрессоров и 15 жертв), у которых моделировали депрессивное состояние, и они получали внутрижелудочно дистиллированную воду, объемом 2 мл ежедневно в течение 20 суток с момента моделирования депрессии;

3 группа — самцы (15 агрессоров и 15 жертв), которые с первого дня моделирования депрессии получали внутрижелудочно водный экстракт одуванчика лекарственного, производства ООО «КоролевФарм» (Россия) с концентрацией действующих веществ 3,5–4,0%, в дозе 75 мг/100 г массы животного, объемом 2 мл.

Для моделирования депрессивного состояния у животных 2 и 3 групп использовали модель «социального» стресса и в результате были выявлены животные с типами поведения «агрессор» и «жертва» [17].

Для определения продуктов перекисного окисления белков, крыс декапитировали в соответствии с этическими нормами и из черепной коробки извлекали мозг, из которого на льду выделяли неокортекс, стриатум, гиппокамп и гипоталамус. Затем готовили из ткани 10% гомогенат в 0,1 М фосфатном буфере (pH = 7,4), гомогенат центрифугировали при 10 000 g, t = +4 °C в течение 40 мин для удаления клеточного дебриса. Из готовой пробы часть отбирали для определения спонтанной и индуцированной реактивом

Фентона окислительной модификации белка и количества — SH групп белков *ex tempore*.

Количественное определение продуктов перекисного окисления белков в тканях мозга крыс проводили методом иммуноферментного анализа с помощью готовых наборов реагентов Rat AOPP ELISA Kit (Cusabio, Китай). Продукты реакции регистрировали на двух длинах волн 270 нм и 363 нм, что соответствует карбонильным производным белков с гидрофильными и гидрофобными аминокислотными остатками. Количество продуктов окисленной модификации белков (ОМБ) выражали в единицах оптической плотности, рассчитанной на 1 мг белка. Для оценки Фентон-индуцированного окисления белков использовали величину приращения ОМБ, вычитая из значений оптической плотности, полученной в пробе после индукции реактивом Фентона, значения оптической плотности спонтанного ОМБ. Оптическую плотность растворов измеряли фотоэлектроколориметром КФК-3-01 ЗОМЗ (Россия).

Взятие материалов и выведение крыс из эксперимента методом декапитации производилось с точным соблюдением всех этических норм, применимых к лабораторным животным с соблюдением ФЗ № 498 от 27.12.2018 года¹, требований приказа МЗ РФ от 01.04.2016 года N 199н².

Цифровой материал всех экспериментов подвергали статистической обработке с помощью пакета программ STATISTICA Application 10.0.1011.0. (США).

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

Результаты исследования уровня спонтанного (СОМБ) и Фентон-индуцируемого (ФОМБ) окисления гидрофильных и гидрофобных аминокислотных остатков в тканях мозга крыс представлены на рисунках 1–4.

В состоянии депрессии и при ее терапии экстрактом одуванчика лекарственного в неокортексе крыс-агрессоров не установлено изменений концентрации СОМБ и ФОМБ гидрофильных аминокислотных остатков (АКО). При этом концентрация СОМБ гидрофобных АКО у крыс 2 группы снизилась на 39,0%, а у животных 3 группы — только на 17,1% по сравнению с интактными крысами, а концентрация ФОМБ гидрофобных АКО у животных 2 группы возросла на 34,8%, а у животных 3 группы — только на 20,3% по сравнению с животными 1 группы.

В неокортексе крыс-жертв не установлено изменений концентрации ФОМБ гидрофильных АКО, но при этом концентрация СОМБ гидрофильных АКО у крыс 2 группы возросла на 134,9%, а у животных 3 группы — только на 52,4% по сравнению с интактными крысами; концентрация

Рис. 1. Концентрация ОМБ в неокортексе крыс с различными типами поведения в состоянии депрессии

Fig. 1. Concentration of OMB in the neocortex of rats with different types of behavior in a state of depression

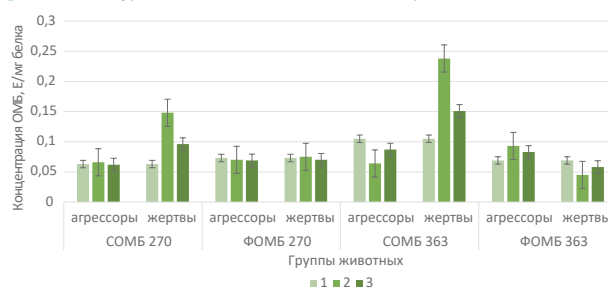
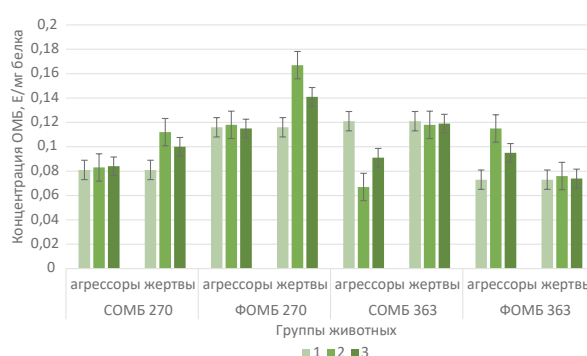


Рис. 2. Концентрация ОМБ в гипоталамусе крыс с различными типами поведения в состоянии депрессии

Fig. 2. Concentration of OMB in the hypothalamus of rats with different types of behavior in a state of depression



СОМБ гидрофобных АКО у животных 2 группы возросла на 126,7%, а у животных 3 группы — только на 43,2% по сравнению с животными 1 группы, а концентрация ФОМБ гидрофобных АКО у крыс 2 группы снизилась на 34,8%, а у животных 3 группы — только на 16,0% по сравнению с крысами 1 группы.

В состоянии депрессии и при ее терапии экстрактом одуванчика лекарственного в гипоталамусе крыс-агрессоров также не установлено изменений концентрации СОМБ и ФОМБ гидрофильных АКО. При этом, концентрация СОМБ гидрофобных АКО у крыс 2 группы снизилась на 44,6%, а у животных 3 группы — только на 24,8% по сравнению с интактными крысами, а концентрация ФОМБ гидрофобных АКО у животных 2 группы возросла на 57,5%, а у животных 3 группы — только на 30,1% по сравнению с животными 1 группы.

В гипоталамусе крыс-жертв не установлено изменений концентрации СОМБ и ФОМБ гидрофобных АКО, но при этом концентрация СОМБ гидрофильных АКО у крыс 2 группы возросла на 38,3%, а у животных 3 группы — только на 23,4% по сравнению с интактными крысами, а концентрация ФОМБ гидрофильных АКО у животных 2 группы возросла на 44,0%, а у животных 3 группы — только на 21,6% по сравнению с животными 1 группы.

¹ Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ

² Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики: приказ Минздрава РФ от 01.04.2016 N 199н: зарегистрировано в Минюсте РФ 15.08.2016 N 43232

Рис. 3. Концентрация ОМБ в гиппокампе крыс с различными типами поведения в состоянии депрессии

Fig. 3. Concentration of OMB in the hippocampus of rats with different types of behavior in a state of depression

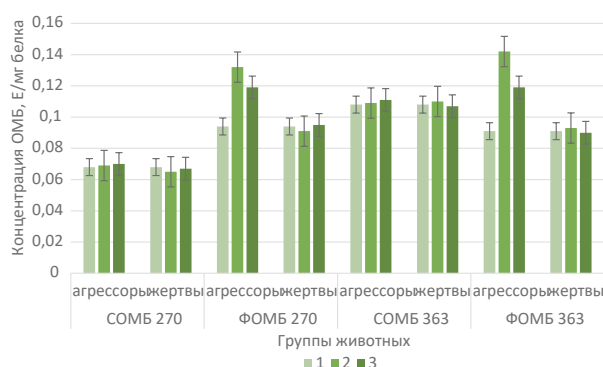
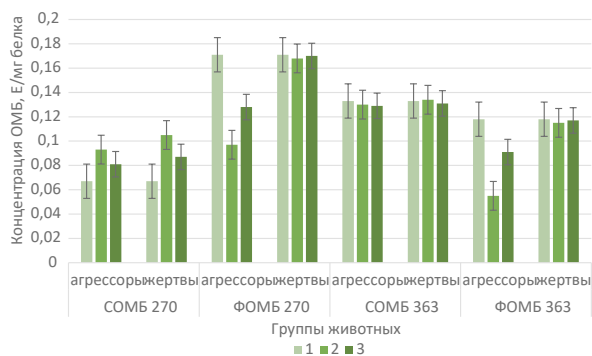


Рис. 4. Концентрация ОМБ в стриатуме крыс с различными типами поведения в состоянии депрессии

Fig. 4. Concentration of OMB in the striatum of rats with different types of behavior in a state of depression



В состоянии депрессии и при ее терапии экстрактом одуванчика лекарственного в гиппокампе крыс-агрессоров не установлено изменений концентрации СОМБ гидрофильных и гидрофобных АКО, а у крыс-жертв — изменений концентрации СОМБ и ФОМБ гидрофобных и гидрофильных АКО. При этом, у агрессоров концентрация ФОМБ гидрофильных АКО у крыс 2 группы возросла на 40,4%, а у животных 3 группы — только на 26,6% по сравнению с интактными крысами, а концентрация ФОМБ гидрофобных АКО у животных 2 группы возросла на 57,0%, а у животных 3 группы — только на 30,8% по сравнению с животными 1 группы.

В состоянии депрессии и при ее терапии экстрактом одуванчика лекарственного в стриатуме крыс-агрессоров не установлено изменений концентрации СОМБ гидрофобных АКО. При этом, концентрация СОМБ гидрофильных АКО у крыс 2 группы возросла на 38,8%, а у животных 3 группы — только на 20,9% по сравнению с интактными крысами, при этом концентрация ФОМБ гидрофильных АКО у животных 2 группы снизилась на 43,3%, а у животных 3 группы — только на 25,1% по сравнению с животными 1 группы и концентрация ФОМБ гидрофобных АКО у животных 2 группы снизилась на 53,4%, а у животных 3 группы — только на 22,9% по сравнению с животными 1 группы.

В стриатуме крыс-жертв не установлено изменений концентрации СОМБ гидрофобных АКО и

концентрации ФОМБ гидрофильных и гидрофобных АКО, но при этом концентрация СОМБ гидрофильных АКО у крыс 2 группы возросла на 56,7%, а у животных 3 группы — только на 29,9% по сравнению с интактными крысами.

Таким образом, по результатам эксперимента установлено, что при моделировании депрессивного состояния у крыс агрессоров и жертв наблюдаются разнонаправленные изменения ОМБ в различных структурах мозга. Так, в неокортексе, участвующем в регуляции поведенческих импульсов, установлено у агрессоров повышение концентрации ФОМБ гидрофобных АКО на фоне депрессии, а у жертв — наоборот, при этом после стресса у агрессоров снижается концентрация СОМБ гидрофобных АКО, а у жертв — возрастает концентрация СОМБ гидрофильных и гидрофобных АКО.

В гипоталамусе при моделировании депрессивного состояния у крыс установлено, что у агрессоров наблюдается повышение концентрации ФОМБ гидрофобных АКО и снижение концентрации СОМБ гидрофобных АКО на фоне депрессии, а у жертв — повышение концентрации СОМБ и ФОМБ гидрофильных АКО.

В гиппокампе при моделировании депрессивного состояния у крыс установлено, что у агрессоров повышается концентрация ФОМБ гидрофильных и гидрофобных АКО, а у жертв — концентрации СОМБ и ФОМБ гидрофильных и гидрофобных АКО претерпевают минимальные изменения.

В стриатуме при моделировании депрессивного состояния у крыс установлено, что у агрессоров повышается концентрация СОМБ гидрофильных АКО и снижается концентрация ФОМБ гидрофильных и гидрофобных АКО, а у жертв — возрастает концентрация СОМБ гидрофильных АКО.

Дополнительная внутрижелудочная нагрузка крыс экстрактом одуванчика лекарственного способствует нормализации окислительно-восстановительных процессов в изучаемых тканях мозга крыс, так как у крыс 3 группы вышеуказанные изменения концентраций СОМБ и ФОМБ гидрофильных и гидрофобных АКО происходили в том же направлении, что и у животных 2 группы, но отличались статистически значимыми меньшими амплитудами, как в сторону снижения, так и в сторону увеличения концентрации.

Спонтанное окисление белков в тканях — это естественный процесс, происходящий без явных внешних стрессоров в норме, включает нецелевые, непреднамеренные химические модификации аминокислотных остатков (например, свободнорадикальные атаки на серин, лизин, цистеин; образование окисленных функциональных групп, карбоно-, нуклеофильные изменения), в результате которых образуется умеренное количество окисленных остатков белков, влияющее в целом на структуру белковых молекул, их активность и полимеризацию. Базальная ОМБ отражает баланс между генерированием активных форм

кислорода и антиоксидантной защитой организма и в норме является регуляторным механизмом, при котором модификации белков влияют на их активность или взаимодействие с другими клеточными компонентами. Изменения физиологического уровня спонтанного окисления белков могут сигнализировать о рассогласовании окислительно-восстановительных процессов в организме и предвещать риск возрастных или патологических состояний [16, 17].

Индукцируемая ОМБ, как правило, возникает под воздействием внешних факторов или патологических состояний, например, при ультрафиолетовом облучении, поступлении в организм токсических агентов, активации воспалительных медиаторов, гипоксии или гиперактивации свободных радикалов. Индуцируемая ОМБ характеризуется резким увеличением концентрации окисленных остатков в тканях, образованием продуктов перекисного окисления липидов, связанных с белками (например, малоновый диальдегид и др.) [17, 18].

Индукцируемая ОМБ является индикатором того, как организм реагирует на стресс: чем выше пороговая чувствительность и эффективность антиоксидантной защиты, тем меньше вероятность чрезмерной индуцированной модификации белков. Низкая устойчивость тканей к переоислению проявляется быстрым ростом индуцированной модификации белков под воздействием стимулов, что коррелирует с повышенным риском окислительного повреждения клеток и тканей [17–19].

Анализ обоих видов ОМБ позволяет комплексно оценить редокс-потенциал ткани, риски ее повреждений и эффективность используемых антиоксидантов, а также служит маркером динамики патологических состояний и ответов на терапию.

Выводы/Conclusions

После проведения исследования можно отметить, что моделирование стресс-индуцированной депрессии у крыс, по-видимому, сопровождается разнонаправленными изменениями перекисного окисления белков в различных структурах мозга в зависимости от поведенческого фенотипа — «агрессор» или «жертва». У животных с типом поведения «агрессор» наблюдалось повышение Фентон-индуцируемой окислительной модификации гидрофобных аминокислотных остатков:

в гиппокампе на 57,0% ($p < 0,01$), в гипоталамусе на 57,5% ($p < 0,01$), в неокортексе на 34,8% ($p < 0,05$). Одновременно у «агрессоров» отмечено снижение уровня спонтанного окисления гидрофобных остатков в неокортексе на 39,0% ($p < 0,01$) и в гипоталамусе на 44,6% ($p < 0,01$). У крыс с типом поведения «жертва», напротив, выявлено повышение спонтанного окисления гидрофильных аминокислотных остатков в неокортексе на 134,9% ($p < 0,001$), в стриатуме на 56,7% ($p < 0,01$), в гипоталамусе на 38,3% ($p < 0,05$), а также повышение спонтанного окисления гидрофобных остатков в неокортексе на 126,7% ($p < 0,001$). Полученные данные позволяют говорить о возможной дестабилизации редокс-потенциала тканей мозга ($p < 0,05$ для всех изученных структур) и, вероятно, о зависимости направления окислительных изменений от поведенческого фенотипа.

Дополнительное внутрижелудочное введение экстракта одуванчика лекарственного, по-видимому, в определенной степени способствует нормализации окислительно-восстановительных процессов в изученных структурах мозга. У животных, получавших экстракт, направленность изменений концентраций продуктов спонтанного и Фентон-индуцируемого окисления гидрофильных и гидрофобных аминокислотных остатков в основном сохранялась, однако амплитуда этих изменений была, как правило, меньше по сравнению с группой, не получавшей терапию. Так, у «агрессоров» снижение спонтанного окисления гидрофобных остатков в неокортексе составило 17,1% ($p < 0,05$) против 39,0% ($p < 0,01$) без терапии, а повышение Фентон-индуцируемого окисления гидрофобных остатков в гиппокампе — 30,8% ($p < 0,05$) против 57,0% ($p < 0,01$) без терапии. У «жертв» повышение спонтанного окисления гидрофильных остатков в неокортексе уменьшилось до 52,4% ($p < 0,01$) против 134,9% ($p < 0,001$) без терапии, а в стриатуме — до 29,9% ($p < 0,05$) против 56,7% ($p < 0,01$) без терапии. Таким образом, можно предположить, что экстракт одуванчика лекарственного может обладать антиоксидантной активностью в условиях стресс-индуцированной депрессии, что проявляется в тенденции к снижению амплитуды окислительной модификации белков в изученных структурах мозга крыс ($p < 0,05$ для большинства показателей по сравнению с группой без терапии).

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волель Б.А., Сорокина О.Ю. Невротическая депрессия: подходы к терапии. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019; 119 (1–2): 69–74. <https://doi.org/10.17116/jnevro20191191269>
2. Мередова Б.А. Депрессия: междисциплинарный взгляд на этиологию, клинику и современные терапевтические стратегии. *A posteriori*. 2026; (1): 131–134. EDN VXGMMJ

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Volel B.A., Sorokina O.Yu. Neurotic depression: approaches to treatment. *Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2019; 119 (1–2): 69–74 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/jnevro20191191269>
2. Meredova B.A. Depression: an interdisciplinary view of the etiology, clinical picture, and modern therapeutic strategies. *A posteriori*. 2026; (1): 131–134 (in Russian). EDN VXGMMJ

3. Дубинина Е.Е., Щедрина Л.В., Мазо Г.Э. Основные биохимические аспекты патогенеза депрессии. Часть II. *Успехи физиологических наук*. 2021; 52(1): 31–48. <https://doi.org/10.31857/S0301179821010033>
4. Арушанян Э.Б., Наумов С.С. Оксидативный стресс, как проблема психофармакологии. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2020; 18(4): 297–311. EDN WQVTRK
5. Halliwell B. Reactive Oxygen Species and the Central Nervous System. Packer L., Prilipko L., Christen Y. (eds.). *Free Radicals in the Brain*. Berlin; Heidelberg: Springer. 1992; 21–40. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77609-0_2
6. Дубинина Е.Е. и др. Окислительная модификация белков: окисление триптофана и образование битирозина в очищенных белках с использованием системы Фентона. *Биохимия*. 2002; 67(3): 413–421. EDN MPLZAV
7. Мальцева Н.В., Волчегорский И.А., Шемяков С.Е. Возрастные изменения содержания клеток микроглии, продуктов перекисного окисления липидов и окислительной модификации белков в конечном мозге человека на ранних этапах онтогенеза. *Нейрохимия*. 2017; 34(1): 54–61. EDN YVYYN
8. Синицкий А.И., Носкова В.С., Винель П.К., Шatrova Ю.М. Влияние селегилина на свободнорадикальное окисление в головном мозге крыс с аллоксановым диабетом. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2025; 28(9): 63–69. EDN LOGAQU
9. Сергалиева М.У., Цибизова А.А., Самотруева М.А. Влияние глипролинов на перекисное окисление липидов и белков в гипоталамической области в условиях экспериментального гипертиреоза. *Биомедицина*. 2024; 20(1): 62–72. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-20-1-62-72>
10. Вьюшина А. В., Ордын Н. Э. Некоторые аспекты современного состояния проблемы пренатального стресса и роль окислительного стресса в реализации его последствий. *Успехи современной биологии*. 2021; 141(2): 133–148. <https://doi.org/10.31857/S0042132421020095>. EDN YVGGPM
11. Губский Ю.И. и др. Токсикологические последствия окислительной модификации белков при различных патологических состояниях (обзор литературы). *Современные проблемы токсикологии*. 2005; (3): 20–26. EDN VSYAFO
12. Бонь Е.И., Максимович Н.Е., Дремза И.К., Носович М.А., Храповицкая К.А. Характеристика нарушений прооксидантно-оксидантного баланса у крыс с ишемией головного мозга. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2022; (3): 97–106. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2022-3-97-105>
13. Li Y.-C., Shen J.-D., Li Y.-Y., Huang Q. Antidepressant effects of the water extract from *Taraxacum officinale* leaves and roots in mice. *Pharmaceutical Biology*. 2014; 52(8): 1028–1032. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.876432>
14. Kudryavtseva N.N. A Sensory Contact Model for the Study of Aggressive and Submissive Behavior in Male Mice. *Aggressive Behavior*. 1991; 17(5): 285–291. [https://doi.org/10.1002/1098-2337\(1991\)17:5%3C285::AID-AB2480170505%3E3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1098-2337(1991)17:5%3C285::AID-AB2480170505%3E3.0.CO;2-P)
15. Головина В.И., Панфилов В.А., Золотухин И.А. Гесперидин: потенциальные, но недооцененные возможности. *Флебология*. 2023; 17(4): 352–360. <https://doi.org/10.17116/flebo202317041352>
16. Москвитина П.М., Павлова О.Н., Леонов В.В., Живцов В.Ю. Исследование паттернов поведения крыс в условиях стресс-индуцированной депрессии при внутрижелудочной нагрузке экстрактом одуванчика лекарственного. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2025; 15(5): 6–13. EDN TGCISM
17. Никольская В.А., Черетаев И.В. Влияние инсулинового шока на окислительную модификацию белков нервной ткани головного мозга лабораторных крыс. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2020; 6(1): 110–124. EDN VPKNKV
18. Ряполова А.В., Аксинина Т.А., Столярова А.О., Крыльский Е.Д., Сафонова О.А., Попова Т.Н. Воздействие эпифамина на степень окислительной модификации белков в тканях крыс на фоне развития ишемии/реперфузии головного мозга. *Наука и образование: проблемы, идеи, инновации*. 2018; (1): 2–3. EDN ORXHCL
19. Вьюшина А.В., Притворова А.В., Пивина С.Г., Акулова В.К., Ордын Н.Э. Влияние различных видов стресса матери на состояние некоторых компонентов редокс-системы мозга у самцов и самок крыс на 20-й день эмбрионального периода развития. *Нейрохимия*. 2024; 41(4): 362–371. <https://doi.org/10.31857/S1027813324040077>
3. Dubinina E.E., Schedrina L.V., Mazo G.E. Main Biochemical Aspects of the Pathogenesis of Depression. Part II. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2021; 51(9): 1330–1343. <https://doi.org/10.1007/s11055-021-01198-9>
4. Arushanyan E.B., Naumov S.S. Oxidative stress as a problem of psychopharmacology. *Reviews on clinical pharmacology and drug therapy*. 2020; 18(4): 297–311 (in Russian). EDN WQVTRK
5. Halliwell B. Reactive Oxygen Species and the Central Nervous System. Packer L., Prilipko L., Christen Y. (eds.). *Free Radicals in the Brain*. Berlin; Heidelberg: Springer. 1992; 21–40. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77609-0_2
6. Dubinina E.E. et al. Oxidative Modification of Proteins: Oxidation of Tryptophan and Production of Dityrosine in Purified Proteins Using Fenton's System. *Biochemistry (Moscow)*. 2002; 67(3): 343–350. <https://doi.org/10.1023/A:1014840617890>
7. Maltseva N.V., Volchegorskii I.A., Shemyakov S.E. Age-related changes in the number of microglial cells, lipid peroxidation, and oxidative protein-modification products in the human cerebrum at early stages of ontogenesis. *Neurochemical Journal*. 2017; 11(1): 50–56. <https://doi.org/10.1134/S181971241701007X>
8. Sinitskii A.I., Noskova V.S., Vinel P.K., Shatrova Yu.M. Effect of selegiline on free radical oxidation in the brain of rats with alloxan diabetes. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2025; 28(9): 63–69 (in Russian). EDN LOGAQU
9. Sergaliev M.U., Tsiibizova A.A., Samotrueva M.A. Effects of Glyprolins on Lipid and Protein Peroxidation in the Hypothalamic Region in Experimental Hyperthyroidism. *Journal Biomed*. 2024; 20(1): 62–72 (in Russian). <https://doi.org/10.33647/2074-5982-20-1-62-72>
10. Vyushina, A. V., & Ordyan, N. E. (2021). Some aspects of the current state of the problem of prenatal stress and the role of oxidative stress in the realization of its consequences. *Advances in Current Biology*, 141(2), 133–148. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0042132421020095>. EDN YVGGPM
11. Gubskiy Yu.I. et al. Toxicological consequences of oxidative modification of proteins in various pathological conditions (literature review). *Modern problems of toxicology*. 2005; (3): 20–26 (in Russian). EDN VSYAFO
12. Bon' E.I., Maksimovich N.Ye., Dremza I.K., Nosovich M.A., Khrapovitskaya K.A. Disturbance of pro-oxidant-antioxidant balance in rats with cerebral ischemia. *Ulyanovsk medico-biological journal*. 2022; (3): 97–106 (in Russian). <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2022-3-97-105>
13. Li Y.-C., Shen J.-D., Li Y.-Y., Huang Q. Antidepressant effects of the water extract from *Taraxacum officinale* leaves and roots in mice. *Pharmaceutical Biology*. 2014; 52(8): 1028–1032. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.876432>
14. Kudryavtseva N.N. A Sensory Contact Model for the Study of Aggressive and Submissive Behavior in Male Mice. *Aggressive Behavior*. 1991; 17(5): 285–291. [https://doi.org/10.1002/1098-2337\(1991\)17:5%3C285::AID-AB2480170505%3E3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1098-2337(1991)17:5%3C285::AID-AB2480170505%3E3.0.CO;2-P)
15. Golovina V.I., Panfilov V.A., Zolotukhin I.A. Hesperidin: Potential but Underestimated Opportunities. *Journal of Venous Disorders*. 2023; 17(4): 352–360 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/flebo202317041352>
16. Moskvitina P.M., Pavlova O.N., Leonov V.V., Zhivtsov V.Yu. Study of behavioral patterns in rats under conditions of stress-induced depression with intragastric load of dandelion extract. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor, and Health*. 2025; 15(5): 6–13 (in Russian). EDN TGCISM
17. Nikolskaya V.A., Cheretaev I.V. Effect of insulin shock on oxidative modification of proteins in the nervous tissue of the brain of laboratory rats. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. 2020; 6(1): 110–124 (in Russian). EDN VPKNKV
18. Ryapolova A.V., Aksinina T.A., Stolyarova A.O., Krylsky E.D., Safonova O.A., Popova T.N. The effect of epifamin on the degree of oxidative protein modification in rat tissues under conditions of cerebral ischemia/reperfusion. *Nauka i obrazovaniye: problemy, idei, innovatsii*. 2018; (1): 2–3 (in Russian). EDN ORXHCL
19. Vyushina A.V., Pritvorova A.V., Pivina S.G., Akulova V.K., Ordyan N.E. The Effect of Various Types of Mother Stress on the Some Components of the Brain Redox System in Male and Female Rats on the 20th Day of the Embryonic Development Period. *Neurochemical Journal*. 2024; 18(4): 691–699. <https://doi.org/10.1134/S181971242470034X>

ОБ АВТОРАХ

Полина Михайловна Москвитина
преподаватель кафедры физиологии
pmoskvitina@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0666-7442>

Ольга Николаевна Павлова
доктор биологических наук, доцент, заведующий
кафедрой физиологии
casiopeya13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8055-1958>

Ольга Николаевна Гуленко
кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры
физиологии
gulenko_ol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6338-7095>

Анна Вячеславовна Чубарова
студент 6 курса Института клинической медицины
annacubarova93@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-0167-9789>

Мария Вячеславовна Чубарова
студент 6 курса Института педиатрии
mashachubarova2002@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-7985-0756>

Александра Юрьевна Неведова
студент 6 курса Института клинической медицины
n.sasha.ju@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-0238-4923>

Дарья Игоревна Хазиахметова
студент 6 курса Института клинической медицины
haziahmetova.dasha@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1640-9076>

Самарский государственный медицинский университет
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
ул. Чапаевская, 89, Самара, 443099, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Polina Mikhailovna Moskvitina
lecturer at the Department of Physiology
pmoskvitina@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0666-7442>

Olga Nikolayevna Pavlova
Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Physiology
casiopeya13@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8055-1958>

Olga Nikolayevna Gulenko
Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Physiology
gulenko_ol@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6338-7095>

Anna Vyacheslavovna Chubarova
6th year student at the Institute of Clinical Medicine
annacubarova93@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-0167-9789>

Maria Vyacheslavovna Chubarova
6th year student at the Institute of Pediatrics
mashachubarova2002@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0009-7985-0756>

Alexandra Yuryevna Nefedova,
6th year student at the Institute of Clinical Medicine
n.sasha.ju@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0000-0238-4923>

Daria Igorevna Khaziakhmetova
6th year student at the Institute of Clinical Medicine
haziahmetova.dasha@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1640-9076>

Samara State Medical University of the Ministry of Health
of the Russian Federation,
89 Chapaevskaya st., Samara, 443099, Russia



ВЕТЕРИНАРИЯ
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ
КОМПЛЕКСЕ

XV Международная
научно-практическая конференция

ВЕТЕРИНАРИЯ В АПК
2-4 ИЮНЯ 2026

СОЗДАЁМ КОМФОРТНОЕ ПРОСТРАНСТВО
ДЛЯ ЖИВОГО ОБЩЕНИЯ И РЕШЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ЗАДАЧ АПК



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

НОВОСИБИРСК, УЛ. СТАЦИОННАЯ, 104

ОТСКАНИРУЙТЕ
И УЗНАЙТЕ
ПОДРОБНОСТИ



Реклама

УДК 636.2.082.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-48-55

А.С. Горелик¹
О.В. Горелик² ✉
М.Б. Ребезов^{2, 3}
С.Ю. Харлап²
Н.А. Эйриян²
О.В. Шальнев²

¹Уральский институт
 Государственной противопожарной
 службы Министерства Российской
 Федерации по делам гражданской
 обороны, чрезвычайным ситуациям и
 ликвидации последствий стихийных
 бедствий, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный
 аграрный университет,
 Екатеринбург, Россия

³Федеральный научный центр
 пищевых систем им. В.М. Горбатова
 Российской академии наук, Москва,
 Россия

✉ olgao205en@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Горелик А.С., Горелик О.В.,
 Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Эйриян Н.А.,
 Шальнев О.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-48-55

Artem S. Gorelik¹
Olga V. Gorelik² ✉
Maksim B. Rebezov^{2, 3}
Svetlana Yu. Kharlap²
Nikolay A. Eyriyan²
Oleg V. Shalnev²

¹Ural Institute of State Fire Service
 of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg,
 Russia

²Ural State Agrarian University,
 Yekaterinburg, Russia

³Gorbatov Research Center for Food
 Systems, Moscow, Russia

✉ olgao205en@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.02.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B.,
 Kharlap S.Yu., Eyrian N.A., Shalnev O.V.

Продуктивные качества коров голштинской породы в динамике по лактациям

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Переход молочного скотоводства Свердловской области на разведение скота голштинской породы сопровождается не только ростом продуктивности, но и проблемами снижения воспроизводительных функций и продуктивного долголетия животных. Изучение взаимосвязи молочной продуктивности и репродуктивных качеств в динамике лактаций представляет существенный научный и практический интерес для устойчивого развития отрасли.

Методы. Исследования проведены на коровах 2018 года рождения. Анализ данных племенного учета выполнен с использованием ИАС «СЕЛЭКС — Молочный скот». Молочная продуктивность (удой за 305 дней, массовая доля жира и белка) анализировалась методом контрольных доек. Воспроизводительные качества оценивались по длительности сервис-периода и рассчитанному коэффициенту воспроизводительной способности (КВС). Статистическая обработка данных включала расчет средних значений, ошибки средней и коэффициента вариации.

Результаты. Установлено, что максимальный средний удой достигнут во вторую лактацию ($10484,48 \pm 135,86$ кг). При этом выявлено наличие в стаде животных с показателями массовой доли жира и белка в молоке ниже минимальных требований породы. Наблюдается системное превышение оптимальной продолжительности сервис-периода, наиболее выраженное у коров второй лактации (отклонение $+50,76$ дня, или $+56,34\%$). Средний коэффициент воспроизводительной способности по всем лактациям составил $0,89-0,90$, что указывает на удовлетворительный, но недостаточный уровень воспроизводства. Прямой корреляции между величиной удоя и длительностью сервис-периода не выявлено.

Несмотря на высокий генетический потенциал молочной продуктивности, в стаде голштинского скота существуют проблемы, связанные со снижением качества молока (МДЖ, МДБ) и нарушением воспроизводительной функции. Для повышения эффективности селекционно-племенной работы необходим комплексный отбор, сочетающий оценку не только величины удоя, но и качества молока, а также репродуктивных показателей. Результаты исследования обосновывают необходимость разработки и внедрения управленческих и селекционных решений, направленных на сокращение сервис-периода и повышение продуктивного долголетия коров.

Ключевые слова: голштинская порода, молочная продуктивность, динамика лактаций, воспроизводительная способность, сервис-период, качество молока

Для цитирования: Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Эйриян Н.А., Шальнев О.В. Продуктивные качества коров голштинской породы в динамике по лактациям. *Аграрная наука*. 2026; 406(05): 48–55.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-48-55>

Productive qualities of Holstein cows in dynamics of lactation

ABSTRACT

Relevance. The transition of dairy farming in the Sverdlovsk region to breeding Holstein cattle is accompanied not only by increased productivity but also by problems of declining reproductive functions and productive longevity of animals. Studying the relationship between milk productivity and reproductive traits across lactation cycles is of significant scientific and practical interest for the sustainable development of the industry.

Methods. The study was conducted on cows born in 2018. Analysis of breeding records was performed using the information and analytical system "SELEX — Dairy Cattle". Milk productivity (305-day milk yield, fat and protein content) was monitored using control milking. Reproductive qualities were assessed by the duration of the service period and the calculated reproductive ability coefficient (RAC). Statistical processing included calculation of mean values, standard error, and coefficient of variation.

Results. It was found that the maximum average milk yield was achieved in the second lactation ($10,484.48 \pm 135.86$ kg). However, the presence of animals with fat and protein content in milk below the minimum breed requirements was identified. A systemic excess of the optimal service period duration was observed, most pronounced in cows of the second lactation (deviation $+50.76$ days, or $+56.34\%$). The average reproductive ability coefficient across all lactations was $0.89-0.90$, indicating a satisfactory but insufficient level of reproduction. No direct correlation was found between milk yield and the duration of the service period. Despite the high genetic potential for milk productivity, the Holstein herd exhibits problems related to reduced milk quality (fat and protein content) and impaired reproductive function. To improve the efficiency of breeding, comprehensive selection is required, combining the assessment of not only milk yield but also milk quality and reproductive indicators. The research results justify the need to develop and implement management and breeding solutions aimed at reducing the service period and increasing the productive longevity of cows.

Key words: Holstein breed, milk productivity, lactation dynamics, reproductive ability, service period, milk quality

For citation: Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Eyrian N.A., Shalnev O.V. Productive qualities of Holstein cows in dynamics of lactation. *Agrarian science*. 2026; 406(05): 48–55 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-48-55>

Введение/Introduction

Повышение производства молока — одна из важнейших задач работников отрасли молочного скотоводства, развитию которой отводится ведущая роль в обеспечении населения страны высококачественными полноценными продуктами питания животного происхождения¹. Молоко и молочные продукты отличаются полноценностью, высокими вкусовыми качествами и доступны для людей любого достатка [1, 2].

Для получения молока повсеместно используется высокопродуктивный голштинский черно-пестрый скот [3–5]. В зависимости от зоны разведения, природно-климатических и эколого-кормовых условий, породных ресурсов крупного рогатого скота региона, голштинский черно-пестрый скот различается по хозяйственно-биологическим особенностям, что позволило официально зарегистрировать в различных регионах страны новые высокопродуктивные типы молочного скота [6–8]. Так, в зоне Урала, в том числе в Свердловской области, создан и официально зарегистрирован в 2002 году уральский тип голштинизированной черно-пестрой породы, который отличался высоким удоем, массовой долей жира (МДЖ) и белка (МДБ) в молоке [3, 9].

В последующие годы продолжилось использование мирового генотипа быков-производителей голштинской породы разной селекции, что позволило по результатам последней породной инвентаризации 2021 года перейти на разведение молочного скота голштинской породы [3, 4, 8].

Наряду с положительными результатами при разведении этих животных выявлены определенные проблемы, связанные прежде всего со снижением воспроизводительных функций, что приводит к снижению длительности продуктивного долголетия [10–17]. Часто это связывают с преобладанием доминанты продуктивности [10, 12, 18, 19]. Длительный период лактации увеличивает суммарную молочную продуктивность и количество потомства [10, 11, 20, 21].

Изучение молочной продуктивности маточно-го поголовья голштинского черно-пестрого скота уральской селекции [22–26] и их воспроизводительных качеств в зависимости от возраста актуально и имеет практическое значение [27–29].

Целью работы явилось изучение молочной продуктивности и воспроизводительных качеств коров голштинской породы в зависимости от возраста в лактациях.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в одном из типичных для Свердловской области племенных репродукторов по разведению голштинской породы. Объектом исследований явились коровы, рожденные в 2018 году и окончившие на 30.10.2023 года лактацию.

Все животные на протяжении исследований находились в одинаковых, типичных для зоны условий кормления и содержания, под наблюдением ветеринарного врача, летом — в летних лагерях с пастбой на естественных пастбищах, зимой — в типовых помещениях при привязном способе содержания².

Использовались данные племенного и зоотехнического учета Информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах»³ (Россия), результаты собственных исследований.

Учитывались удои за 305 дней лактации, массовая доля жира (МДЖ) и белка (МДБ) в молоке⁴. Молочную продуктивность (удой, содержание жира, белка в молоке) коров исследовали по контрольным дойкам. Определяли количество молочного жира⁵ и белка⁶. Содержание жира и белка выявляли в средней пробе молока от каждой коровы один раз в месяц.

Воспроизводительные качества оценивались по длительности периодов, связанных с воспроизводством и коэффициенту воспроизводительной способности.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, используемых для научных целей⁷, и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ⁸.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В таблице 1 представлены данные о статистической обработке полученных результатов по молочной продуктивности коров в зависимости от возраста в лактациях.

Установлено, что удои за лактацию самый высокий установлен по 2-й лактации — 10 484,48 кг, что больше, чем по первой лактации на 1450 кг или на 16,1% и 169 кг, чем по третьей или на 1,6%. Все животные, независимо от значений минимального

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2020 года N 993-р [Об утверждении Стратегии развития агропродовольственного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года].

² Морозова Н.И. и др. Молочная продуктивность голштинских коров при круглогодичном стойловом содержании (монография). Рязань, 2013.

³ ИАС «СЕЛЭКС» — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах внесена в Единый реестр российского программного обеспечения. Реестровая запись № 1927 от 23.09.2016

⁴ ГОСТ Р 51451-99 Методика учета надоев коровьего молока

⁵ ГОСТ 5867-2023 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира

⁶ ГОСТ 34454-2018 Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кельдаля

⁷ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.

⁸ https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

⁸ Федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

Таблица 1. Результаты по молочной продуктивности коров в зависимости от возраста в лактациях
Table 1. Results on dairy productivity of cows depending on age in lactation

Лактация	Показатель	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	Количество молочного жира, кг	Количество молочного белка, кг
1	Средняя	9034,42	3,71	3,15	335,2	284,6
	Ошибка	142,42	0,02	0,02	—	—
	Cv, %	18,45	7,22	7,03	—	—
	МАХ	13486,00	4,60	3,65	620,4	492,2
	МИН	4838,00	2,73	2,67	180,5	129,2
2	Средняя	10484,48	3,58	3,27	375,3	342,8
	Ошибка	135,86	0,03	0,02	—	—
	Cv, %	15,11	9,06	5,68	—	—
	МАХ	14356,00	4,52	3,71	649,3	532,6
	МИН	6703,00	2,73	2,89	183,0	193,7
3	Средняя	10315,11	3,60	3,38	371,3	348,7
	Ошибка	125,31	0,02	0,02	—	—
	Cv, %	13,90	6,02	5,34	—	—
	МАХ	13559,00	4,29	3,72	581,7	504,4
	МИН	4838,00	2,91	2,93	140,8	191,6
4	Средняя	10298,80	3,65	3,50	375,9	360,5
	Ошибка	175,78	0,04	0,01	—	—
	Cv, %	15,36	8,70	2,86	—	—
	МАХ	14594,00	4,31	3,80	629,0	554,6
	МИН	6842,00	2,85	3,19	195,0	218,3
В среднем	Средняя	9998,12	3,64	3,30	363,9	329,9
	Ошибка	76,24	0,01	0,01	—	—
	Cv, %	16,79	7,86	6,65	—	—
	МАХ	14594,00	4,60	3,80	671,3	554,6
	МИН	4838,00	2,73	2,67	180,5	129,2

удоя по лактации, соответствуют минимальным требованиям стандарта породы.

Разница по удою между минимальными и максимальными значениями удоя позволяет утверждать, что в стаде возможно интенсивно проводить отбор коров по данному признаку и быстро повысить данные показатели.

Однако из представленных в таблице данных следует заключить, что не все коровы соответствуют минимальным требованиям по породе по таким показателям, как МДЖ в молоке и МДБ в молоке, а также по количеству молочного жира и молочного белка, выделяемого с молоком коров за ту или иную лактацию. В связи с этим, несмотря на высокий удой, который даже по минимальным показателям превышает требования породы, необходимо проводить отбор по вышеуказанным показателям — МДЖ и МДБ в молоке путем подбора быков-производителей, улучшателей по данным признакам.

Таким образом, можно сделать общий вывод о том, что в хозяйстве используется высокопродуктивный обильномолочный скот голштинской породы, но в стаде имеются животные с низкими показателями по МДЖ и МДБ в молоке, что указывает на определенные проблемы, связанные с качественными показателями молока, что снижает

их племенные качества и обесценивает проводимую селекционно-племенную работу.

Молочная продуктивность напрямую зависит от воспроизводства, так как является ответом организма на рождение потомства и необходимость обеспечения его питанием для роста и развития сразу после рождения. За длительный период селекционерами были созданы высокопродуктивные породы, от которых можно получать достаточно много молока в течение лактации и которые могут использоваться для его производства несколько лет. Для оптимального эффективного производства молока существует технологический цикл производства с периодами, длительность которых определяется воспроизводительными функциями коров — длительностью стельности и циклом половой охоты. Этот цикл предполагает сервис-период — период между отелом и следующим плодотворным осеменением (45–90 дней); сухостойный период — 60 дней, период перед следующим отелом, когда корова готовится к нему. Весь период — это годовой цикл — 365 дней, в том числе лактация — 290–305 дней. Изменение длительности сервис-периода в сторону уменьшения приводит к сокращенной лактации и рождению слабого молодняка, а увеличение — к удлинению лактационной деятельности и снижению эффективности производства молока. Поэтому основным показателем оценки уровня воспроизводства стада стали считать длительность сервис-периода.

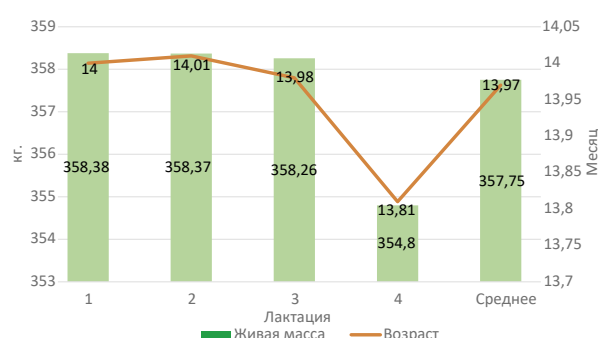
Голштинский скот отличается снижением воспроизводительных функций, что сказалось на длительности сервис-периода, он увеличился. Объясняется это доминантой молочной продуктивности у высокоудойного маточного поголовья. Снижение длительности продуктивного использования коров требует повышения интенсивности выращивания.

В связи с этим становится актуальным вопрос о выборе возраста первого осеменения, обеспечивающего максимальное продуктивное долголетие.

На рисунке 1 представлены данные сопряженности живой массы телок и возраста при первом осеменении.

На рисунке наглядно показано, что существует прямая зависимость между возрастом и живой массой при первом осеменении. Несмотря на

Рис. 1. Живая масса и возраст при первом осеменении
Fig. 1. Live weight and age at first insemination



то, что это животные одного года рождения, можно говорить о том, что возраст первого осеменения в какой-то мере оказывает влияние на длительность продуктивного использования коров. Так, коровы, которые закончили четвертую лактацию, были осеменены на 0,19 месяца раньше, чем окончившие первую, то есть они оказались более устойчивы и жизнеспособны, в сравнении и телками, осемененными в более поздние сроки.

Основным показателем воспроизводительной функции у коров можно считать сервис-период, и по его длительности часто делают вывод об их способности к воспроизводству и об уровне воспроизводства в стаде, поскольку он определяющий.

Данные о длительности сервис-периода представлены на рисунке 2.

По всем лактациям наблюдается превышение длительности сервис-периода по лактациям, которая повышается по второй лактации и потом снижается с возрастом коров. В среднем по лактациям данные показатели превышают оптимальные параметры на 38,31 день, или на 42,46%. Самая большая разница между достигнутыми показателями и необходимыми параметрами оказалась по 2-й лактации — 50,76 дней или 56,34%, а минимальная по четвертой — 23,35 дней или 25,94%.

Таким образом, в молочном стаде есть проблемы с воспроизводством, основное количество коров имеют длительный сервис-период, хотя и присутствуют животные с высокими воспроизводительными функциями, которые сопровождаются коротким сервис-периодом от 64 и до 90 дней.

Сервис-период оказывает влияние на весь цикл, как технологический (производство молока), так и физиологический, связанный с воспроизводством. Был проведен анализ изменения длительности технологического-физиологических периодов при производстве молока в зависимости от возраста в лактациях.

Длительность технологического-физиологических периодов цикла производства молока представлена на рисунке 3.

На диаграмме видно, что нарушены параметры по длительности сервис-периода, которые привели к увеличению длительности лактации и межотельного периодов. Это подтверждает вывод о нарушениях воспроизводительной функции и ее снижении у коров голштинской породы.

Еще одним из показателей воспроизводства является расчетный коэффициент воспроизводительной способности, который показывает сколько телят можно получить за год от коровы при длительности производственного цикла, сложившегося в хозяйстве.

При хорошем уровне воспроизводства он должен быть 0,95 и стремиться к единице. При КВС от 0,90 до 0,95 в хозяйстве преобладает удовлетворительный уровень воспроизводства. Если ниже, считается, что в хозяйстве имеются проблемы с воспроизводством. Данные о сопряженности

Рис. 2. Длительность сервис-периода по лактациям, дней
Fig. 2. Duration of the lactation service period, days



Рис. 3. Длительность технологического-физиологических периодов цикла производства, дней
Fig. 3. The duration of the technological and physiological periods of the production cycle, days

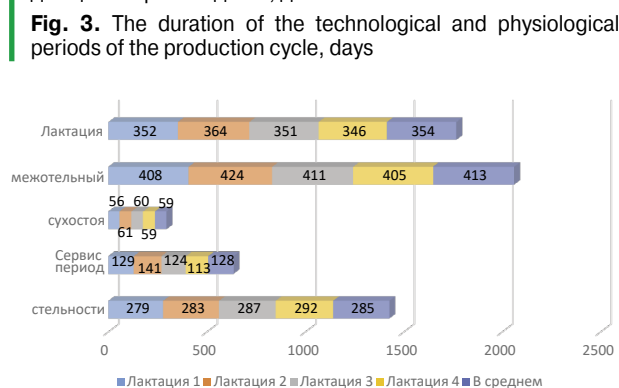
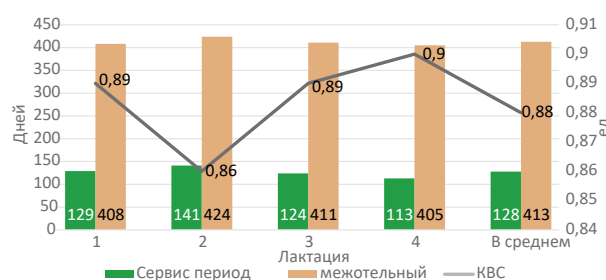


Рис. 4. Сопряженность показателей воспроизводства
Fig. 4. Correlation of reproduction indicators



длительности сервис- и межотельного периодов и коэффициента воспроизводительной способности (КВС) (рис. 4).

На диаграмме наглядно показано, что повышение длительности сервис- и межотельного периодов ведет к снижению коэффициента воспроизводительной способности.

Оценка влияния показателей воспроизводства на продуктивность коров проведена путем графического изображения полученных результатов по удою и длительности сервис-периода (рис. 5).

Не установлена зависимость длительности сервис-периода и удоя за лактацию, хотя прослеживается тенденция увеличения удоя и длительности сервис-периода. Это видно по изменению удоя по первой, третьей и четвертой лактациям. По первой лактации при достаточно длительном сервис-периоде был отмечен самый низкий удой, что определяется возрастом коров, а по третьей и четвертой лактациям наблюдается снижение удоя и длительности сервис-периода, снижение удоя

Рис. 5. Сопряженность удоя за 305 дней лактации и длительности сервис- периода

Fig. 5. The conjugation of milk yield for 305 days of lactation and the duration of the service period



Рис. 6. Сопряженность удоя за 305 дней лактации и коэффициента воспроизводительной способности (КВС)

Fig. 6. The correlation of milk yield over 305 days of lactation and the coefficient of reproductive capacity (RAC)

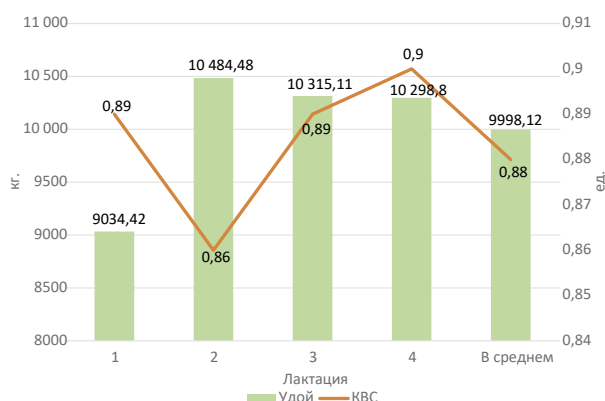


Рис. 7. Выводы по результатам исследования

Fig. 7. Conclusions based on the results of the study

Качественные показатели молока и селекционная работа

- Несмотря на высокую молочную продуктивность коров голштинской породы, в стаде присутствуют особи со сниженными показателями массовой доли жира (МДЖ) и белка (МДБ) в молоке. Это указывает на необходимость интенсификации селекционной работы, направленной на улучшение качественных характеристик молока.
- Научная значимость заключается в доказательстве диссоциации между количественными и качественными признаками продуктивности.
- Практическая рекомендация: внедрение целенаправленного отбора и использования быков-улучшателей по признакам МДЖ и МДБ для повышения племенной ценности стада.

Воспроизводительная функция и продуктивное долголетие

- Установлено существенное превышение оптимальной длительности сервис-периода, особенно у коров второй лактации (до 50,76 дней), что свидетельствует о выраженном снижении воспроизводительной способности. При этом не выявлено прямой корреляции между величиной удоя и продолжительностью сервис-периода, что опровергает упрощенный тезис о "доминанте продуктивности".
- Научная значимость: получены данные о возрастной динамике репродуктивных нарушений у голштинского скота в условиях Уральского региона.
- Практическая значимость: необходимо внедрение мониторинга репродуктивных показателей и разработка зоотехнических мероприятий для сокращения сервис-периода, что повысит экономическую эффективность молочного скотоводства.

Особенности лактационной деятельности в возрастном аспекте

- Динамика молочной продуктивности по лактациям соответствует общим биологическим закономерностям, однако спецификой голштинской породы является раннее достижение пика удоя (вторая лактация) и его стабилизация в последующие периоды.
- Научная значимость: работа дополняет существующие представления о возрастной изменчивости продуктивных признаков у голштинского скота в конкретных условиях содержания.
- Практический вывод: для максимизации пожизненной продуктивности необходимо оптимизировать возраст первого осеменения и условия выращивания ремонтного молодняка с учетом выявленных закономерностей.

незначительно, не может быть подтверждено разницей в длительности сервис-периода, и тут отмечают стабилизацию.

Данное утверждение подтверждается данными на рисунке 6.

Коэффициент воспроизводительной способности по всем лактациям, за исключением второй, находится в пределах 0,89–0,90 и говорит о том, что проводимую в хозяйстве работу по воспроизводству можно считать близкой к удовлетворительной, но имеются проблемы, которые необходимо решать, в том числе путем подбора быков-производителей по данным показателям.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать общие выводы, представленные на рис. 7.

Выводы/Conclusions

Полученные результаты обосновывают необходимость комплексного подхода в селекции голштинского скота, сочетающего отбор по молочной продуктивности и по репродуктивным признакам.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение генетических маркеров, ассоциированных с воспроизводительной способностью и качеством молока, для внедрения методов геномной селекции.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование является поисковым и выполнено в рамках научных исследований Уральского государственного аграрного университета номер государственной регистрации АААА-А19-1191014000069.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Обливанцов В.В. Продуктивные и селекционно-генетические особенности голштинского черно-пестрого скота Крыма. *Повышение производства продукции животноводства на современном этапе. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию кафедры частного животноводства.* Витебск: Витебская академия «Знак Почёта» государственная академия ветеринарной медицины. 2022; 45–48. EDN VFCLLG
- Строев В.В., Магомедов М.Д., Алексейчева Е.Ю. Повышение производства и потребления молочных продуктов в России и продовольственная безопасность. *Экономика: вчера, сегодня, завтра.* 2023; 13(6-1): 368–380. EDN FKHWK
- Ефремова Д.В. Голштинская порода крупного рогатого скота и ее значение в мировом скотоводстве. В мире научных открытий. *Материалы VII Международной студенческой научной конференции.* Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина. 2023; 1558–1561. EDN YUZAHA
- Колесникова А.В., Басонов О.А. Степень использования генетического потенциала голштинских быков-производителей различной селекции. *Зоотехния.* 2017; (1): 10–12. EDN XWVGW
- Чеченихина О.С., Смирнова Е.С. Биологические и продуктивные особенности коров черно-пестрой породы при различной технологии доения. *Молочно-хозяйственный вестник.* 2020; (1): 90–102. EDN UEOGV
- Сельцов В.И., Молчанова Н.В., Сулима Н.Н. Влияние методов разведения на продуктивное долголетие и пожизненную продуктивность коров. *Зоотехния.* 2013; (9): 2–4. EDN RCLXIN
- Сермягин А.А., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Костюнина О.В., Зиновьева Н.А. Оценка геномной вариативности продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS анализа и ROH паттернов. *Сельскохозяйственная биология.* 2020; 55(2): 257–274. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257rus>
- Дунин И.М., Тяпугин С.Е., Мещеров Р.К., Ходыков В.П., Мещеров Ш.Р., Никулкин Н.С. Разведение скота голштинской породы на территории Российской Федерации. *Зоотехния.* 2020; (2): 5–8. EDN MLVBY
- Шелковкина Е.В., Горелик О.В. Хозяйственно-полезные качества голштинизированного черно-пестрого скота. *Молодежь и наука.* 2021; (11): 15. EDN DSUOXU
- Fahim N.H., Ibrahim M.A.M., Sadek R.R. Lifetime performance traits of Holstein cows: implications of first-lactation milk yield and culling causes. *Tropical Animal Health and Production.* 2025; 57(8): 454. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04670-7>
- Braganholo R.C. et al. Age at first calving and productive performance of primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Research.* 2023; 90(4): 353–356. <https://doi.org/10.1017/S0022029923000729>
- Соловьева О.И., Крестянинова Е.И. Факторы, влияющие на здоровье и долголетие молочных коров. Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения. *Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции.* Быково. 2022; 143–148. EDN BAKHWQ
- Сафронов С.Л., Костомакхин Н.М., Соловьева О.И., Остроухова В.И., Кульмакова Н.И. Молочная продуктивность и долголетие коров в условиях промышленной технологии производства молока. *Селекционные и технологические аспекты интенсификации производства продуктов животноводства. По материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения академика М.Ф. Иванова.* М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2022; 1: 223–227. EDN DRQJGH

FUNDING

The research is exploratory and was carried out within the framework of scientific research of the Ural State Agrarian University state registration number АААА19-1191014000069.

REFERENCES

- Oblivantsov V.V. Productive and selection-genetic features of Holstein Black-and-White cattle of Crimea. *Increasing the production of livestock products at the present stage. Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the Department of Private Livestock Breeding.* Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2022; 45–48 (in Russian). EDN VFCLLG
- Stroev V.V., Magomedov M.D., Alekseycheva E.Yu. Increasing the production and consumption of dairy products in Russia and food security. *Economics: yesterday, today and tomorrow.* 2023; 13(6-1): 368–380 (in Russian). EDN FKHWK
- Efremova D.V. Holstein cattle breed and its importance in world cattle breeding. *In the world of scientific discoveries. Proceedings of the VII International student scientific conference.* Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 2023; 1558–1561 (in Russian). EDN YUZAHA
- Kolesnikova A.V., Basonov O.A. The genetic potential of various selection Holstein sires. *Zootekhnika.* 2017; (1): 10–12 (in Russian). EDN XWVGW
- Chechenikhina O.S., Smirnova E.S. Biological and productive features of Black-Motley cows with various milking techniques. *Molochno-khozyaistvenny Vestnik.* 2020; (1): 90–102 (in Russian). EDN UEOGV
- Seltsov V.I., Molchanova N.V., Sulima N.N. Influence of breeding methods on productive longevity and cows lifetime productivity. *Zootekhnika.* 2013; (9): 2–4 (in Russian). EDN RCLXIN
- Sermyagin A.A., Bykova O.A., Lorets O.G., Kostyunina O.V., Zinovieva N.A. Genomic variability assess for breeding traits in holsteinized Russian Black-and-White cattle using GWAS analysis and ROH patterns. *Agricultural Biology.* 2020; 55(2): 257–274. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257eng>
- Dunin I.M., Tyapugin S.E., Meshchero R.K., Khodykov V.P., Meshchero Sh.R., Nikulkin N.S. Breeding of Holstein cattle on the territory of the Russian Federation. *Zootekhnika.* 2020; (2): 5–8 (in Russian). EDN MLVBY
- Shelkovkina Ye.V., Gorelik O.V. Economic and useful qualities of Holstein Black-and-White cattle. *Youth and science.* 2021; (11): 15 (in Russian). EDN DSUOXU
- Fahim N.H., Ibrahim M.A.M., Sadek R.R. Lifetime performance traits of Holstein cows: implications of first-lactation milk yield and culling causes. *Tropical Animal Health and Production.* 2025; 57(8): 454. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04670-7>
- Braganholo R.C. et al. Age at first calving and productive performance of primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Research.* 2023; 90(4): 353–356. <https://doi.org/10.1017/S0022029923000729>
- Solovieva O.I., Krestyaninova E.I. Factors affecting the health and longevity of dairy cows. *Increasing the competitiveness of livestock breeding and the tasks of personnel support. Proceedings of the XXVIII International scientific and practical conference.* Bykovo. 2022; 143–148 (in Russian). EDN BAKHWQ
- Safronov S.L., Kostomakhin N.M., Solov'yeva O.I., Ostroukhova V.I., Kul'makova N.I. Milk productivity and longevity of cows under industrial milk production technology. *Breeding and technological aspects of intensification of livestock production. Based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician M.F. Ivanov.* Moscow: Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. 2022; 1: 223–227 (in Russian). EDN DRQJGH

14. Шелковкина Е.В., Харлап С.Ю., Горелик О.В. Молочная продуктивность голштинизированного черно-пестрого скота. *Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. 2022; 1: 321–324. EDN RQADJU
15. Gorelik O.V., Lihodeevskaya E., Zezin N.N., Sevostyanov M.Ya., Leshonok O.I. The use of inbreeding in dairy cattle breeding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548: 082013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082013>
16. Сударев Н.П., Абылкасымов Д., Абрампальская О.В., Чаргеишвили С.В. Влияние возраста первого плодотворного осеменения телок разной селекции на их последующие хозяйственно полезные признаки. *Сельскохозяйственный журнал*. 2018; (3): 50–56. EDN HMEDQN
17. Elahi Torshizi M. Effects of season and age at first calving on genetic and phenotypic characteristics of lactation curve parameters in Holstein cows. *Journal of Animal Science and Technology*. 2016; 58: 8. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0089-1>
18. Лоретц О.Г., Горелик О.В., Гафнер В.Д. Влияние происхождения на молочную продуктивность коров. *Аграрный вестник Урала*. 2016; (4): 45–50. EDN VWUUGZ
19. Гридина С.Л., Гридин В.Ф., Сидорова Д.В., Новицкая К.В. Влияние уровня голштинизации на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы. *Достижения науки и техники АПК*. 2018; 32(8): 60–61. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10816>
20. Krpálková L., Syrůček J., Kvapilík J., Burdych J. Analysis of milk production, age at first calving, calving interval and economic parameters in dairy cattle management. *Mljekarstvo*. 2017; 67(1): 58–70. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2017.0107>
21. Caetano S.L. *et al.* Estimation of genetic parameters for longevity considering the cow's age at last calving. *Journal of Applied Genetics*. 2017; 58(1): 103–109. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0353-6>
22. Скобелев В.В., Чижевский С.И., Серяков И.С., Цикунова О.Г. Молочная продуктивность коров-первотелок в зависимости от генеалогической структуры в ОАО «Валище» Пинского района. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2017; (4): 32–37. EDN YMNEIK
23. Павлова Т.В., Новик С.Н. Продолжительность хозяйственного использования и молочная продуктивность коров разных генотипов в СПК «Ляховичский». *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2017; (2): 31–37. EDN YMNEAU
24. Чеченихина О.С., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Степанов А.В. Возраст выбытия коров из стада в зависимости от генетических и паратипических факторов. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (6): 71–79. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
25. Гридин В.Ф., Гридина С.Л. Анализ породного и классного состава крупного рогатого скота Уральского региона. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019; (1): 50–51. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019150-51>
26. Назарченко О.В., Цопанова А.В., Денисов С.А., Евшиков С.С. Голштинская порода и ее генетический потенциал в условиях Зауралья. *Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России. Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции*. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия. 2022; 139–143. EDN RWKJVV
27. Горелик А.С. и др. Оценка изменчивости молочных признаков коров в зависимости от лактационной деятельности. *Аграрная наука*. 2026; (2): 60–67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-60-67>
28. Шальнев О.В., Харлап С.Ю., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Особенности молочной продуктивности коров в зависимости от возраста и подбора. *Аграрная наука*. 2026; (1): 77–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-77-84>
29. Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Характеристика коров голштинской породы по продуктивным качествам в зависимости от возраста. *Аграрная наука*. 2026; (3): 50–57. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-50-57>
14. Shelkovkina Ye.V., Kharlap S.Yu., Gorelik O.V. Milk productivity of Holsteinized Black-and-White cattle. *Intellectual potential of young scientists as a driver of agro-industrial complex development. Proceedings of the International scientific and practical conference of young scientists and students*. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University. 2022; 1: 321–324 (in Russian). EDN RQADJU
15. Gorelik O.V., Lihodeevskaya E., Zezin N.N., Sevostyanov M.Ya., Leshonok O.I. The use of inbreeding in dairy cattle breeding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548: 082013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082013>
16. Sudarev N.P., Abylkasymov D., Abrampalskaya O.V., Chargeishvili S.V. Influence of the age of the first fruitful insemination in heifers of different selection on their subsequent economically useful traits. *Agricultural journal*. 2018; (3): 50–56 (in Russian). EDN HMEDQN
17. Elahi Torshizi M. Effects of season and age at first calving on genetic and phenotypic characteristics of lactation curve parameters in Holstein cows. *Journal of Animal Science and Technology*. 2016; 58: 8. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0089-1>
18. Lorets O.G., Gorelik O.V., Gafner V.D. Influence of origin on milk yield of cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016; (4): 45–50 (in Russian). EDN VWUUGZ
19. Gridina S.L., Gridin V.F., Sidorova D.V., Novitskaya K.V. Influence of Holstein share on milk productivity of Black-and-White cows. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2018; 32(8): 60–61 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10816>
20. Krpálková L., Syrůček J., Kvapilík J., Burdych J. Analysis of milk production, age at first calving, calving interval and economic parameters in dairy cattle management. *Mljekarstvo*. 2017; 67(1): 58–70. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2017.0107>
21. Caetano S.L. *et al.* Estimation of genetic parameters for longevity considering the cow's age at last calving. *Journal of Applied Genetics*. 2017; 58(1): 103–109. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0353-6>
22. Skobelev V.V., Chizhevsky S.I., Seryakov I.S., Tsikunova O.G. Milk productivity of first-calf cows depending on the genealogical structure at JSC "Valische", Pinsk region. *Animal agriculture and veterinary medicine*. 2017; (4): 32–37 (in Russian). EDN YMNEIK
23. Pavlova T.V., Novik S.N. Duration of living in the herds and milk productivity of cows of different genotypes in SPK "Lyakhovichsky". *Animal agriculture and veterinary medicine*. 2017; (2): 31–37 (in Russian). EDN YMNEAU
24. Chechenikhina O.S., Bykova O.A., Lorets O.G., Stepanov A.V. The age of retirement of cows from the herd, depending on genetic and paratypical factors. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (6): 71–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
25. Gridin V.F., Gridina S.L. Analysis of breed and class composition cattle of the Ural region. *Russian agricultural sciences*. 2019; (1): 50–51 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019150-51>
26. Nazarchenko O.V., Tsopanova A.V., Denisov S.A., Evshikov S.S. The Holsteins breed and its genetic potential in the conditions of the Trans-Ural. *Agricultural science in the context of modernization and digital development of the Russian agro-industrial complex. Collection of articles based on the materials of the International scientific and practical conference*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy. 2022; 139–143 (in Russian). EDN RWKJVV
27. Gorelik A.S. *et al.* Evaluation of variability of dairy characteristics of cows depending on lactation activity. *Agrarian science*. 2026; (2): 60–67 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-60-67>
28. Shalnev O.V., Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Features of dairy productivity of cows depending on age and selection. *Agrarian science*. 2026; (1): 77–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-77-84>
29. Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Characteristics of Holstein cows in terms of productive qualities, depending on age. *Agrarian science*. 2026; (3): 50–57 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-50-57>

ОБ АВТОРАХ

Артём Сергеевич Горелик¹

кандидат биологических наук
temae077ex@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

Ольга Васильевна Горелик²

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов
olgao205en@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Максим Борисович Ребезов^{2,3}

• доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов²
• доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Светлана Юрьевна Харлап²

кандидат биологических наук, доцент
proffuniver@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

Николай Арменакович Эйриян²

кандидат экономических наук,
ucupp2017@mail.ru

Олег Владимирович Шальнев²

аспирант
shalnev-oleg@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5482-3269>

¹Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, ул. Мира, 22, Екатеринбург, 620062, Россия

²Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

³Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Artyom Sergeevich Gorelik¹

Candidate of Biological Sciences
temae077ex@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

Olga Vasilyevna Gorelik²

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products
olgao205en@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Maksim Borisovich Rebezov^{2,3}

• Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department²
• Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Svetlana Yurievna Kharlap²

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
proffuniver@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

Nikolay Armenakovich Eyriyan²

Candidate of Economic Sciences,
ucupp2017@mail.ru

Oleg Vladimirovich Shalnev²

Postgraduate Student
shalnev-oleg@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5482-3269>

¹Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 22 Mira st., Yekaterinburg, 620062, Russia

²Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia

³Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia



26
ИЮНЯ

САМАРСКИЙ ОБЛАСТНОЙ

ДЕНЬ ПОЛЯ
и сенажиса
2026

Самарская область, Красноярский район,
опытное поле ГБУ СО НИИ «Жигулевские сады»

По вопросам участия: 8 927 618 77 12; 8 927 156 70 20

Реклама



Х. Салех¹ ✉Н.П. Буряков¹Ю.И. Есавкин¹С.О. Шаповалов^{1, 2}Д.Е. Алешин¹М.Н. Долгая³¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия²Научно-испытательский центр «Черкизово», Москва, Россия³ООО «Группа компаний ВИК», Островцы, г.о. Раменский, Московская обл., Россия

✉ hatemsaleh193@gmail.com

Поступила в редакцию: 22.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Салех Х., Буряков Н.П., Есавкин Ю.И., Шаповалов С.О., Алешин Д.Е., Долгая М.Н.

Влияние добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в рацион нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани

РЕЗЮМЕ

Изучено влияние различного уровня и соотношения аминокислот с разветвленной цепью (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в комбикормах на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*). Эксперимент проведен на четырех группах рыб (одна контрольная и три опытных) в течение 229 суток. Контрольная группа получала основной рацион с содержанием сырого протеина 33,1%. В опытных группах уровень BCAA корректировали путем дополнительного ввода кристаллических аминокислот: группа 1 — изолейцин 30% от исходного содержания; группа 2 — изолейцин 20%, валин 20%, лейцин 40%; группа 3 — по 40% каждой из трех аминокислот. В группе 3 зафиксировано максимальное содержание сырого протеина (21,3% на натуральное вещество, 79,2% на абсолютно сухое вещество) и сырого жира (3,2% и 11,9% соответственно). Энергетическая ценность 100 г филе в группе 3 достигла 114,0 ккал, превысив контроль на 20,6%. Содержание суммы BCAA в белке мяса увеличилось до 72,3% против 52,0% в контроле, доля серосодержащих аминокислот выросла с 12,0% до 17,0%. Индексы биологической ценности белка в группе 3 составили: аминокислотный скор — 59,5 (контроль 40,7), индекс Осера — 99,27 (контроль 69,42), PDCAAS — 56,53% (контроль 38,63%), DIAAS — 54,7% (контроль 37,4%). Полученные данные свидетельствуют о том, что рацион с добавлением 40% изолейцина, валина и лейцина обеспечивает повышение энергетической ценности продукции и улучшение аминокислотного состава белка мяса тиляпии.

Ключевые слова: нильская тиляпия, кормление, BCAA, изолейцин, валин, лейцин, биологическая ценность белка, PDCAAS, DIAAS, аминокислотный скор, индекс Осера

Для цитирования: Салех Х., Буряков Н.П., Есавкин Ю.И., Шаповалов С.О., Алешин Д.Е., Долгая М.Н. Влияние добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в рацион нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) на химический состав, энергетическую ценность и аминокислотный профиль мышечной ткани. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 56–64.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-56-64>

Hatem Saleh¹ ✉Nikolay P. Buryakov¹Yuri I. Esavkin¹Sergei O. Shapovalov^{1, 2}Dmitrii E. Aleshin¹Marina N. Dolgaya³¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia²Research and Testing Center Cherkizovo, Moscow, Russia³«VIC Group of Companies» LLC, Ostrovtsy, Ramenskoye, Moscow region, Russia

✉ hatemsaleh193@gmail.com

Received by the editorial office: 22.02.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Saleh H., Buryakov N.P., Esavkin Yu.I., Shapovalov S.O., Aleshin D.E., Dolgaya M.N.

Effects of branched-chain amino acid (BCAA: L-isoleucine, L-valine, L-leucine) supplementation in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on chemical composition, energy value, and amino acid profile of muscle tissue

ABSTRACT

The effect of different levels and ratios of branched-chain amino acids (BCAA: L-isoleucine, L-valine, L-leucine) in compound feeds on the chemical composition, energy value, and amino acid profile of muscle tissue of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) was studied. The experiment was conducted on four groups of fish (control and three experimental) over a period of 229 days. The control group received a basal diet with a crude protein content of 33.1%. In the experimental groups, the BCAA levels were adjusted by additional supplementation of crystalline amino acids: group 1 — isoleucine 30% of the initial content; group 2 — isoleucine 20%, valine 20%, leucine 40%; group 3 — 40% of each of the three amino acids. Group 3 showed the maximum crude protein content (21.3% on a natural matter basis, 79.2% on an absolute dry matter basis) and crude fat content (3.2% and 11.9%, respectively). The energy value of 100 g of fillet in group 3 reached 114.0 kcal, exceeding the control by 20.6%. The total BCAA content in meat protein increased to 72.3% compared to 52.0% in the control, while the proportion of sulfur-containing amino acids increased from 12.0% to 17.0%. The calculated indices of protein biological value in group 3 were as follows: amino acid score — 59.5 (control 40.7), Oser index — 99.27 (control 69.42), PDCAAS — 56.53% (control 38.63%), DIAAS — 54.7% (control 37.4%). The obtained data indicate that the diet supplemented with 40% isoleucine, valine, and leucine provides an increase in the energy value of the product and an improvement in the amino acid composition of tilapia meat protein.

Key words: Nile tilapia, feeding, BCAA, isoleucine, valine, leucine, protein biological value, PDCAAS, DIAAS, amino acid score, Oser index

For citation: Saleh H., Buryakov N.P., Esavkin Yu.I., Shapovalov S.O., Aleshin D.E., Dolgaya M.N. Effects of branched-chain amino acid (BCAA: L-isoleucine, L-valine, L-leucine) supplementation in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on chemical composition, energy value, and amino acid profile of muscle tissue. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 56–64 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-56-64>

Введение/Introduction

Современная аквакультура не ограничивается задачей простого наращивания биомассы. Ключевой вектор развития отрасли сместился в сторону управления качеством продукции через целенаправленное конструирование кормов, где обеспеченность рациона энергией, протеином и аминокислотами приобретает решающее значение, на что указывает ряд ведущих ихтиодиетологов^[1]. Особое место в этих исследованиях занимают незаменимые аминокислоты с разветвленными боковыми цепями (BCAA), которые, как доказано, не просто участвуют в синтезе белка, но выступают в роли сигнальных молекул, активируя ключевой путь mTOR, напрямую стимулирующий мышечный протеинсинтез и подавляющий катаболизм мышечной ткани [2–4]. Понимание точных потребностей рыб в BCAA позволяет создавать не просто сбалансированные, но и экономически обоснованные рационы, минимизируя избыточное введение дорогостоящих протеиновых компонентов.

Успех тилипии, которую многие исследователи образно называют «бройлерным цыпленком рыбоводства», обусловлен сочетанием биологической неприхотливости, быстрых темпов роста и экономической эффективности [5, 6]. При этом белок мяса тилипии характеризуется сбалансированным аминокислотным составом, соответствующим потребностям человека, с высоким содержанием незаменимых аминокислот [1, 3]. Интегральным показателем, отражающим эффективность утилизации пищевого белка для синтеза собственных белков тела, служит биологическая ценность (табл. 1), однако традиционные оценки не учитывают тонких эффектов, связанных с дисбалансом отдельных BCAA.

Одной из фундаментальных задач современной нутрициологии, аквакультуры и пищевой индустрии является поиск и внедрение интегральных критериев биологической ценности мяса рыб. Такие критерии позволяют объективно сравнивать мясо различных видов гидробионтов между собой, а также с альтернативными источниками

белка животного происхождения [7–11]. Концепция «идеального белка» давно перестала быть теоретическим конструктом; она служит практическим инструментом оценки качества протеина. Эталон здесь выступает профиль, разработанный ФАО совместно с ВОЗ. Актуальная версия 2007 года («Белок и аминокислоты в питании человека»)³ базируется на многолетних научных данных, уточнявшихся в 1965, 1973 и 1985 годах, и именно ее рекомендуется использовать при создании сбалансированных рационов для человека и животных, включая рыб.

В этом контексте нильская тилипия (*Oreochromis niloticus*) занимает особое положение как один из доминирующих видов глобальной аквакультуры, стабильно демонстрирующий рост объемов производства [9–12]. Поэтому настоящая работа направлена на восполнение этого пробела. В отличие от большинства исследований, сосредоточенных исключительно на продукционных показателях, цель данной работы — комплексно оценить влияние различных уровней добавок изолейцина, валина и лейцина в комбикорма не только на рост и энергетическую ценность мышечной ткани, но и на углубленные критерии биологической ценности белка мяса нильской тилипии, включая аминокислотный скор, индекс Осера, PDCAAS, DIAAS и коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС) [13–17]. Такой подход позволяет не просто констатировать факт увеличения массы тела, а научно обосновать, как именно манипуляции с BCAA влияют на качество белка конечного продукта, что имеет прямое значение для пищевой промышленности и здорового питания.

Цель исследования — оценить влияние различных уровней и соотношения добавок разветвленных аминокислот (BCAA: L-изолейцин, L-валин, L-лейцин) в комбикормах на химический состав, энергетическую ценность, аминокислотный профиль мышечной ткани нильской тилипии (*Oreochromis niloticus*), а также на интегральные показатели биологической ценности ее белка (аминокислотный скор, индексы Осера, PDCAAS, DIAAS, КРАС).

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент проводили в условиях аквариальной лаборатории с использованием прямоугольных стеклянных аквариумов объемом 200 литров каждый на базе РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева в 2024–2025 гг.

Объектом исследования служила тилипия (*Oreochromis niloticus*) со средней начальной массой тела 7,6 г. Плотность посадки на старте эксперимента составляла 320 экз./м³, продолжительность эксперимента — 229 суток.

Таблица 1. Стандарт ФАО/ВОЗ применительно к потребностям человека, мг/г белка²

Table 1. FAO/WHO standard applicable to human needs, mg/g protein²

Незаменимая аминокислота (НАК)	Эталон (мг/г)		
	1973	1985	2007
Лизин	55	55	55
Валин	50	50	50
Лейцин	70	70	70
Изолейцин	40	40	40
Метионин + Цистеин	35	35	35
Треонин	40	40	40
Фенилаланин + Тирозин	60	60	60
Триптофан	10	10	10
Гистидин	-	15	15

¹ Mobsby D., Steven H.A., Curtotti R. Australian fisheries and aquaculture outlook 2020. <https://doi.org/10.25814/5e4377eb3eea2>

² Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. FAO Food Nutr Pap. 2013;92:1–66.

³ Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. World Health Organ Tech Rep Ser. 2007;(935):1–265.

В течение всего периода выращивания контролировали гидрохимические параметры водной среды: температура воды поддерживалась в диапазоне 27,8–28,0 °С, содержание растворенного кислорода составляло 5,6–5,9 мг/л, величина pH находилась в пределах 7,2–7,3, концентрация аммония не превышала 0,14–0,18 мг/л, нитритов — 0,38–0,43 мг/л, нитратов — 4,28–4,41 мг/л. Указанные значения соответствовали оптимальным условиям для выращивания тилапии и были идентичными для всех групп.

Кормление осуществляли вручную, контрольный рацион характеризовался следующими показателями: обменная энергия — 245 ккал/100 г корма, сырой протеин — 33,10%, сырой жир — 8,01%, сырая клетчатка — 4,84%, лизин — 1,95%, метионин — 0,61%, метионин + цистин — 1,04%, треонин — 1,27%, кальций — 1,77%, фосфор — 1,30%, натрий — 0,41%, суточную норму кормления определяли в зависимости от массы тела рыбы и температуры воды согласно общепринятой технологии выращивания⁴, как и в предыдущем эксперименте [18].

Все экспериментальные комбикорма изготавливали самостоятельно методом гранулирования на основе базовой рецептуры.

Три опытных рациона имели содержание белка, близкое к данному значению, с учетом погрешности измерения. Разница между рационами заключалась в добавлении незаменимых аминокислот с разветвленными боковыми цепями (BCAA) (табл. 2).

В группе 1 дополнительно вводили 30% изолейцина, в группе 2 — 20% изолейцина, 20% валина и 40% лейцина, в группе 3 — 40% изолейцина, 40% валина и 40% лейцина.

Фактическое содержание BCAA в кормах контрольной группы составило: изолейцин — 1,29%, валин — 1,51%, лейцин — 2,31% от массы корма. В первой группе содержание изолейцина повысили до 1,68% при неизменном уровне валина и лейцина. Во второй группе содержание изолейцина составило 1,55%, валина — 1,81%, лейцина — 3,23%. В третьей группе эти показатели достигли 1,81% для изолейцина, 2,11% — для валина и 3,23% — для лейцина (табл. 4).

Массовую долю сырого протеина в образцах кормов и мяса рыб определяли методом Кельдаля в соответствии с ГОСТ 13496.4-2019⁵. Для пересчета общего азота в массовую долю белка во всех исследуемых образцах применяли универсальный коэффициент 6,25. Отбор

Таблица 2. Содержание протеина и BCAA в опытных рационах

Table 2. Protein and BCAA content in experimental diets

	Массовая доля, %			
	Сырой протеин	изолейцин	валин	лейцин
Контроль	33,10	3,90/1,29	4,56/1,51	6,98/2,31
Группа 1	33,49	5,01/1,68	4,51/1,51	6,90/2,31
Группа 2	34,58	4,48/1,55	5,24/1,81	9,35/3,23
Группа 3	35,14	5,14/1,81	6,02/2,11	9,20/3,23

Примечание: содержание в белке / содержание в корме

Таблица 3. Соотношение разветвленных аминокислот в рационах рыб в опытных группах, %

Table 3. Ratio of branched-chain amino acids in fish diets in experimental groups, %

	Изолейцин	Валин	Лейцин
Контроль	0	0	0
Группа 1	30	0	0
Группа 2	20	20	40
Группа 3	40	40	40

проб мышечной ткани рыб проводили согласно ГОСТ Р 50380⁶, химический состав, кроме указанного сырого протеина, проводили согласно ГОСТ 31795⁷.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования осуществлялись в соответствии с требованиями инструкций и рекомендаций к выполнению биологических исследований.

При проведении исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания рыб и уменьшение количества исследованных опытных образцов.⁸

Аминокислотный состав образцов корма и мяса рыб устанавливали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на хроматографе фирмы «Shimadzu» (Япония) в соответствии с ГОСТ 32195⁹ на базе НИЦ «Черкизово» (Москва, Россия).

Для комплексной оценки биологической ценности белка мяса тилапии рассчитывались следующие индексы:

Аминокислотный скор (Chemical Score — CS): определяется путем сравнения содержания каждой незаменимой аминокислоты (НАК) в исследуемом белке с ее содержанием в эталонном белке (часто используется эталонный профиль ФАО/ВОЗ)¹⁰:

$$AKC = \frac{\text{мг АК в 1 г исследуемого белка}}{\text{мг АК в 1 г «идеального» белка}} \times 100$$

AK_{ИБ} — это количество аминокислоты в 1 грамме исследуемого белка.

⁴ Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Индустриальное рыбководство. 2-е изд. СПб.: Лань. 2013; 416.

ISBN 978-5-8114-1367-6

<https://www.elibrary.ru/ugrmcr>.

⁵ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина

⁶ ГОСТ Р 50380-2005 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Термины и определения

⁷ ГОСТ 31795-2012 Рыба, морепродукты и продукция из них. Метод определения массовой доли белка, жира, воды, фосфора, кальция и зольности спектрометрическим методом в ближней инфракрасной области

⁸ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.

https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063-rus.pdf

⁹ ГОСТ 32195-2013 Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот

¹⁰ Chemical Score — CS, X. Митчелл и Р. Блока (Mitchell, Block), 1946

$AK_{эб}$ — это количество той же аминокислоты в 1 грамме идеального (эталонного) белка.

Индекс незаменимых аминокислот (EAAI — Essential Amino Acid Index) — это более комплексный показатель, чем скор. Он учитывает не одну, а все незаменимые аминокислоты одновременно. Указанный подход представляет собой модифицированную версию метода химического скор (Oser, 1951¹¹) и обладает преимуществом, заключающимся в учете баланса всех незаменимых аминокислот.

Расчетная формула индекса имеет следующий вид:

$$ИНАК = \sqrt[8]{\frac{Val Ile (Met + Cys) Leu Thr Trp His (Phe + Tyr)}{Val Ile э (Met + Cys) э Leu э Thr э Trp э His э (Phe + Tyr) э}}$$

где э — содержание аминокислоты в эталонном белке.

ИНАК = 1: Идеальный белок. Это значение достигается, когда содержание всех незаменимых аминокислот точно соответствует эталону.

ИНАК стремится к 0 при дефиците одной аминокислоты, это означает, что в нем полностью отсутствует хотя бы одна незаменимая аминокислота (лимитирующая аминокислота).

$0 < ИНАК < 1$: Хороший, но не идеальный белок. Значение ИНАК численно равно содержанию самой дефицитной аминокислоты (лимитирующей), то есть $ИНАК = C_{min}$ [23–25].

Индекс PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score)

Улучшенный показатель, который учитывает не только состав, но и переваримость белка в организме человека. Долгое время был золотым стандартом ФАО/ВОЗ

$$PDCAAS, \% = \frac{мг\ лимитирующей\ АК\ в\ 1\ г\ тестируемого\ белка}{мг\ той\ же\ АК\ в\ 1\ г\ идеального\ белка} \times 0,95$$

Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score — метод оценки качества белка на основе потребностей человека в аминокислотах и его способности переваривать их. PDCAAS рассчитывается путем умножения скорректированного показателя аминокислот на истинную усвояемость белка.

Показатель аминокислот определяется как отношение содержания первой лимитирующей аминокислоты в 1 г тестируемого белка к содержанию той же аминокислоты в 1 г эталонного белка. Истинная усвояемость белка, измеренная в эксперименте на крысах. Итоговый результат умножается на 100, чтобы получить процентное значение. Качество белка по PDCAAS определяется с учетом его усвояемости и уровня самой дефицитной аминокислоты.

Индекс DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score)

Самый современный и рекомендуемый сейчас стандарт. Главное отличие от PDCAAS в том, что переваримость аминокислот определяется не по общему белку, а для каждой незаменимой аминокислоты отдельно, и измеряется на уровне подвздошной кишки (а не по фекалиям), что точнее.

Аналогичен PDCAAS, но использует данные о подвздошной переваримости [16, 18].

$$DIAAS = \text{Аминокислотный скор (лимитирующей АК)} \times \text{кишечную переваримость аминокислоты белка (\%)}$$

где кишечную переваримость аминокислот (%) указывают на уровне 95–98% (измеренная в эксперименте на крысах).

Индекс Карпази–Линдера–Варга. Его принцип основан на сравнении аминокислотного состава исследуемого белка со стандартом, в роли которого выступает белок куриного яйца. Формула для расчета по 10 незаменимым аминокислотам имеет следующий вид:

$$БЦ = 75 \times \sqrt[10]{\left(\frac{a_{x1}}{a_{я1}} \frac{a_{x2}}{a_{я2}} \dots \frac{a_{xn}}{a_{яn}}\right) \left(\frac{b_{я1}}{b_{x1}} \frac{b_{я2}}{b_{x2}} \dots \frac{b_{яn}}{b_{xn}}\right)} + 25$$

где n — число незаменимых аминокислот;

a_{x1} — содержание незаменимых аминокислот в исследуемом белке, количество которого меньше, чем в эталонном белке яйца, %;

$a_{я1}$ — содержание этих же аминокислот в эталонном белке яйца, %;

$b_{я1}$ — содержание незаменимых аминокислот, количество которых в белке яйца меньше, чем в исследуемом белке, %;

b_{x1} — содержание этих же аминокислот в исследуемом белке, %;

P_x — сумма незаменимых аминокислот в исследуемом белке, %;

P_y — сумма незаменимых аминокислот в белке яйца, %.

Коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС) — это количественный показатель, который характеризует средний избыток незаменимых аминокислот в исследуемом белке относительно эталонного (идеального) белка.

$$КРАС = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - C_m)}{n}$$

Неполноценный белок ($C_m = 0$): КРАС перестает измерять избыток и становится просто «средней оценкой» аминокислотного профиля. Идеальный белок ($C_i = C_m = 1$): КРАС обнуляется, так как избытки отсутствуют.

Ограничение показателя: Нулевое значение КРАС присваивается как идеальному белку, так и

¹¹ Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World Health Organ Tech Rep Ser. 1985;724:1–206.

любому другому, у которого нет избыточных аминокислот. Таким образом, он не чувствителен к различию между истинным идеалом и просто сбалансированным белком без перекосов [31]. Данный индекс чаще применяют в отечественной пищевой индустрии. Для расчета PDCAAS и DIAAS использовали стандартные коэффициенты истинной усвояемости белка (95%), рекомендованные FAO/ВОЗ для белков животного происхождения.

Прямое перенесение этих коэффициентов с человека на рыбу является упрощением; уточнение переваримости аминокислот для нильской тилляпии требует отдельных экспериментов *in vivo* и не входило в задачи исследования, что является ограничением для данного исследования.

Статистическую обработку проводили с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). При обнаружении значимых различий ($p < 0,05$) применяли *post-hoc* тест Тьюки (Tukey HSD). Данные представлены как среднее $\pm$ стандартная ошибка среднего (SEM).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты химического анализа мышечной ткани нильской тилляпии (табл. 4) свидетельствуют о статистически значимом ($p < 0,05$) влиянии уровня и соотношения ВСАА в рационе на содержание основных нутриентов.

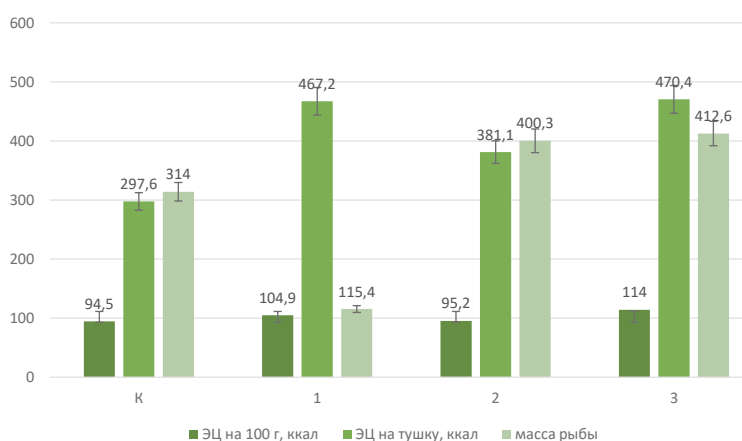
Наибольшая концентрация липидов в мышечной ткани установлена в группе 3: 3,2% в натуральном веществе и 11,9% в пересчете на абсолютно сухое вещество (АСВ), что превышает значения в контроле (1,7% и 5,7% соответственно) в 1,9 и 2,1 раза ($p < 0,05$). В группе 1 содержание сырого жира также было достоверно выше контроля (2,1% на НВ, $p < 0,05$), тогда как в группе 2 данный показатель не имел статистически значимых отличий от контроля (1,6% на НВ, $p > 0,05$). В наших исследованиях максимальная концентрация протеина отмечена в группе 3: 21,3% на НВ и 79,2% на АСВ. Прирост относительно контроля составил 7,6% и 19,6% соответственно ($p < 0,05$). В группах 1 и 2 содержание протеина на АСВ было сопоставимо (72,1–72,4%) и достоверно превышало контроль, однако уступало группе 3. Межгрупповые различия по данному показателю были незначительными и не превышали 0,2% в абсолютном выражении. Статистически достоверное различие зафиксировано между группами 1 и 3, однако биологическая значимость этого эффекта невысока. Применение рациона с добавлением 40% изолейцина, валина и лейцина (группа 3) обеспечило наиболее выраженное улучшение

Таблица 4. Химический состав мяса тилляпии, %
Table 4. Chemical composition of tilapia meat, %

Показатель	Группа			
	К	1	2	3
М.д. влаги (НВ)	70,1 $\pm$ 0,3 ^{а,г}	70,2 $\pm$ 0,4 ^{а,г}	72,1 $\pm$ 0,2 ^{а,б}	73,1 $\pm$ 0,3 ^{а,б,в}
М.д. сухого вещества	29,9 $\pm$ 0,4	29,8 $\pm$ 0,4	27,9 $\pm$ 0,4	26,9 $\pm$ 0,3
М.д. сырого протеина (N ₂ *6,25) в НВ	19,8 $\pm$ 0,5 ^{б,г}	21,5 $\pm$ 0,4 ^{а,в}	20,2 $\pm$ 0,5 ^б	21,3 $\pm$ 0,3 ^а
М.д. сырого жира на НВ	1,7 $\pm$ 0,1 ^{б,г}	2,1 $\pm$ 0,09 ^{а,в,г}	1,6 $\pm$ 0,06 ^{б,г}	3,2 $\pm$ 0,1 ^{а,б,в}
М.д. сырой золы на НВ	1,5 $\pm$ 0,1	1,6 $\pm$ 0,03 ^г	1,4 $\pm$ 0,04	1,5 $\pm$ 0,1 ^б

Примечание тут и далее: статистически достоверная разница ($p < 0,05$). Достоверности указаны при сравнении: а — с группой контроль; б — с группой 1; в — с группой 2; г — с группой 3.

Рис. 1. Энергетическая ценность мяса нильской тилляпии
Fig. 1. Energy value of Nile tilapia meat



химического состава мышечной ткани, выразившееся в синхронном повышении концентрации сырого протеина и сырого жира [19–22]. Полученные данные свидетельствуют о том, что сбалансированное введение всех трех ВСАА в указанной дозировке оказывает более эффективное воздействие на нутритивный профиль мяса тилляпии по сравнению с рационами, содержащими отдельные ВСАА (группа 1) или их комбинацию в ином соотношении (группа 2).

Результаты оценки продукционных показателей и энергетической ценности мышечной ткани нильской тилляпии представлены на рис. 1.

В эксперименте наибольший конечный вес отмечен в группе 1 (445,4 г), что на 41,5% превышает контрольный показатель (314,9 г). Группа 3 (412,6 г) и группа 2 (400,3 г) также достоверно превосходили контроль — на 31,0% и 27,1% соответственно ($p < 0,05$). Максимальный прирост массы, таким образом, зафиксирован при добавлении только изолейцина (группа 1), тогда как комбинированное введение ВСАА (группы 2 и 3) дало сопоставимые, но несколько более низкие результаты. После чего рассчитали энергетическую ценность мяса рыбы, установлено, что минимальное значение отмечено в контрольной группе — 94,5 ккал. Наибольшую энергетическую плотность продемонстрировала группа 3 — 114,0 ккал, что на 20,6% выше контроля ($p < 0,05$). Группа 1 также показала достоверное превышение контроля — 104,9 ккал

(+11,0%, $p < 0,05$). В группе 2 значение составило 95,2 ккал, что не имело статистически значимых отличий от контроля ($p > 0,05$). При пересчете на тушку получены несколько иные данные, так наибольшие значения зафиксированы в группе 3 (470,4 ккал) и группе 1 (467,2 ккал) — превышение контроля составило 58,1% и 57,0% соответственно. Группа 2 показала прирост 28,1% относительно контроля (381,1 ккал).

Обращает на себя внимание разнонаправленный характер эффектов: максимальная живая масса достигнута в группе 1 (только изолейцин), тогда как максимальная энергетическая плотность мяса — в группе 3 (полный комплекс ВСАА). При расчете на всю тушку группы 1 и 3 демонстрируют сопоставимые результаты, что свидетельствует о наличии двух стратегически различных путей повышения энергетической ценности продукции: за счет наращивания биомассы (группа 1) либо за счет улучшения качественного состава мяса в группе 3, что соответствует данным литературы [23,24].

Результаты аминокислотного анализа (табл. 5) свидетельствуют о статистически значимом ($p < 0,05$) влиянии состава рациона на содержание большинства незаменимых аминокислот в мышечной ткани. Исключение составил триптофан, по которому достоверных межгрупповых различий не выявлено.

Наибольшее содержание всех незаменимых аминокислот независимо от способа пересчета (натуральное вещество — НВ, абсолютно сухое вещество — АСВ, сырой протеин — СП) зафиксировано в группе 3, получавшей рацион с добавлением 40% изолейцина, валина и лейцина (рис. 3).

Аналогичная тенденция к повышению отмечена для треонина, фенилаланина, аргинина и гистидина. Содержание триптофана в группе 3 также было максимальным (0,82% на АСВ), однако различия с другими группами статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Группы 1 и 2 также показали превышение контроля по большинству аминокислот, однако уступали группе 3. При этом группа 2 по ряду показателей (валин, лейцин, изолейцин) демонстрировала значения, близкие к группе 1.

Полученные данные свидетельствуют о том, что сбалансированное введение всех трех ВСАА в дозировке 40% (группа 3) обеспечивает не только количественный рост протеина в мышечной ткани, но и существенное улучшение его качественного

Рис. 2. Ключевые изменения в группе 3 относительно контроля (К), $p > 0,05$

Fig. 2. Key changes in group 3 relative to control (K) $p > 0,05$

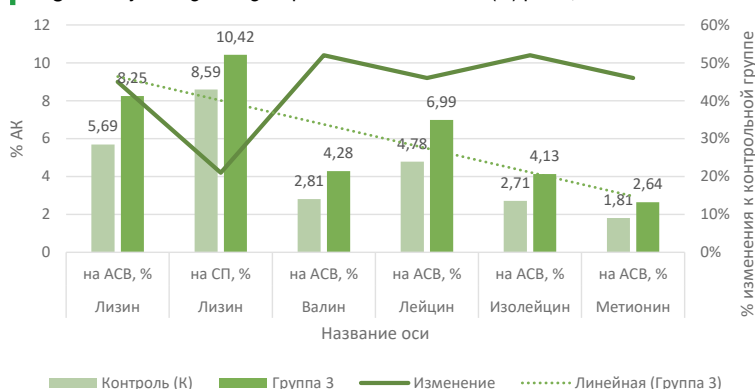


Рис. 3. Незаменимые (1) и заменимые (2) аминокислоты, % на АСВ

Fig. 3. Essential (1) and replaceable (2) amino acids, % of ADM

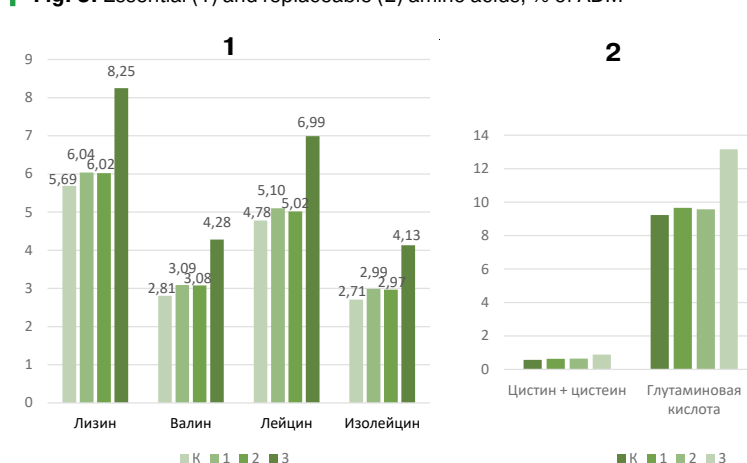


Таблица 5. Оценка биологической ценности белка мяса тилапии с использованием различных расчетных подходов на основе эталона ФАО/ВОЗ

Table 5. Estimation of the biological value of tilapia meat protein using different calculation approaches based on the FAO/WHO standard

Показатель	Группа			
	К	1	2	3
Отношение заменимых аминокислот к незаменимым	0,98	0,97	0,96	0,95
Доля серосодержащих аминокислот, %	12,02	12,05	12,62	17,00
Доля ВСАА (изолейцин + лейцин + валин), %	52,02	52,00	54,80	72,30
Аминокислотный скор (лимитирующая аминокислота)	40,7	43,0	42,3	59,5
Индекс Осера (EAAI)	69,42	74,47	72,66	99,27
PDCAAS, %	38,63	40,85	40,22	56,53
DIAAS, %	37,40	39,60	38,90	54,70
Показатель Карпаци–Линдера–Варги	86,46	88,82	88,17	99,03
Коэффициент различия аминокислотного состава (КРАС)	0,38	0,40	0,40	0,57

состава — повышение концентрации практически всех незаменимых аминокислот. Наименьший эффект отмечен для триптофана, что может быть связано с особенностями его метаболизма или ограничениями метода анализа [24, 25].

Для оценки качества белка используется система взаимодополняющих индексов, где изменения качества белка в опытной группе оцениваются на основе основных аминокислотных показателей по сравнению с контрольной группой [26–29].

В таблице 5 представлены результаты расчета ряда показателей, характеризующих биологическую

ценность белка мышечной ткани нильской тилляпии в зависимости от варианта кормления.

Все представленные индексы (скор, EAAI, PDCAAS, DIAAS, КРАС) рассчитаны по химическому составу белка, а не по его истинной усвояемости в организме рыбы. Для PDCAAS и DIAAS использовали стандартные коэффициенты переваримости (95–98%), принятые для белков животного происхождения в питании человека. КРАС характеризует средний избыток незаменимых аминокислот относительно эталонного профиля. Чем ниже КРАС, тем ближе профиль к эталону (меньше избыточных аминокислот). В данном исследовании КРАС в группе 3 составил 0,57 ед. против 0,38–0,40 в контроле и группах 1–2. Это может означать увеличение избытка аминокислот, а не улучшение сбалансированности. Однако данный избыток сформирован преимущественно за счет ВСАА, которые являются целевыми нутриентами в проведенном эксперименте. Поэтому рост КРАС интерпретируется не как ухудшение баланса, а как закономерный результат целенаправленного обогащения рациона [5, 13, 16, 28].

Наиболее надежными из представленных индексов для оценки качества белка являются PDCAAS и DIAAS (рекомендации ФАО/ВОЗ, 2013). Согласно этим расчетным показателям, группа 3 превосходит контроль на 46% и 46% соответственно. Аминокислотный скор (лимитирующая аминокислота — сумма фенилаланина и тирозина) также выше в группе 3 (59,5 против 40,7 в контроле). С учетом сделанных оговорок можно заключить, что рацион группы 3 (добавление 40% изолейцина, валина и лейцина) ассоциируется с наиболее высокими значениями интегральных индексов биологической ценности белка. Однако окончательное суждение о качестве белка требует прямых измерений переваримости аминокислот в организме тилляпии, что выходит за рамки данного исследования и может рассматриваться как перспективное направление дальнейшей работы.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Furuya W.M., Cruz T.P.d., Gatlin D.M. III. Amino Acid Requirements for Nile Tilapia: *An Update Animals*. 2023; 13(5): 900. <https://doi.org/10.3390/ani13050900>
2. Kandyliari A. *et al.* Nutrient Composition and Fatty Acid and Protein Profiles of Selected Fish By-Products. *Foods*. 2020; 9(2): 190. <https://doi.org/10.3390/foods9020190>
3. Xu C. *et al.* Effects of dietary leucine and valine levels on growth performance, glycolipid metabolism and immune response in Tilapia GIFT *Oreochromis niloticus*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 121: 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.01.028>

Выводы/Conclusions

При изучении влияния добавления аминокислот в рацион нильской тилляпии установлено, что наибольшая конечная живая масса достигнута в группе 1, составила 445,4 г, + 41,5% к контролю, ($p < 0,05$). Группы 2 и 3 также достоверно превосходили контроль на 27,1% и 31,0% соответственно. Наибольшая конечная масса тела достигнута в группе 1, тогда как добавление всех трех ВСАА в группу 3 (40% изолейцина + 40% лейцина + 40% валина) привело к менее выраженному ростовому эффекту, вероятно, вследствие антагонизма ВСАА, связанного с конкурентным ингибированием транспорта и метаболизма изолейцина избытком лейцина.

Показано, что максимальное содержание сырого протеина (21,3% на НВ, 79,2% на АСВ) и сырого жира (3,2% на НВ, 11,9% на АСВ) зафиксировано в группе 3, что превышает контроль в 1,9 и 2,1 раза соответственно ($p < 0,05$). Энергетическая ценность 100 г филе в группе 3 составила 114,0 ккал. При пересчете на всю тушку группы 1 и 3 показали сопоставимые результаты в 467,2 и 470,4 ккал соответственно, что указывает на два различных пути повышения энергетической ценности продукции: за счет наращивания биомассы (группа 1) либо за счет улучшения качественного состава мяса (группа 3).

Отмечено наибольшее содержание всех незаменимых аминокислот, за исключением триптофана, в 3-й группе. Так, доля ВСАА в белке мяса увеличилась до 72,3% против 52,0% в контроле, доля серосодержащих аминокислот — до 17,0% против 12,0%.

Обогащение рациона рыб в количестве 40% изолейцина, валина и лейцина (группа 3) ассоциируется с некоторым улучшением химического состава, энергетической ценности и аминокислотного профиля мышечной ткани нильской тилляпии. Для практической аквакультуры группа 1 (30% изолейцина) представляет интерес с точки зрения максимального наращивания биомассы, тогда как группа 3 — с точки зрения получения продукции с повышенной энергетической плотностью и улучшенным аминокислотным составом белка.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The research was carried out using funds from the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program «Priority 2030».

REFERENCES

1. Furuya W.M., Cruz T.P.d., Gatlin D.M. III. Amino Acid Requirements for Nile Tilapia: *An Update Animals*. 2023; 13(5): 900. <https://doi.org/10.3390/ani13050900>
2. Kandyliari A. *et al.* Nutrient Composition and Fatty Acid and Protein Profiles of Selected Fish By-Products. *Foods*. 2020; 9(2): 190. <https://doi.org/10.3390/foods9020190>
3. Xu C. *et al.* Effects of dietary leucine and valine levels on growth performance, glycolipid metabolism and immune response in Tilapia GIFT *Oreochromis niloticus*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2022; 121: 395–403. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2022.01.028>

4. Peres H. *et al.* Growth performance and metabolic responses of Nile tilapia fed diets with different protein to energy ratios. *Aquaculture*. 2021; 547: 737493. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737493>
5. Araújo F.E. *et al.* Assessment of isoleucine requirement of fast-growing Nile tilapia fingerlings based on growth performance, amino acid retention, and expression of muscle growth-related and *mTOR* genes. *Aquaculture*. 2021; 539: 736645. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736645>
6. El-Sayed A.-F.M. *et al.* Dietary organic acid blend modulates hemato-immunological parameters, digestive and reproductive performances in red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) broodstock. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2025; 51(1): 41. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01459-1>
7. Prabu E., Rajagopalsamy C.B.T., Ahilan B., Jeevagan I.J.M.A., Renuhadevi M. Tilapia — An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. *Annual Research & Review in Biology*. 2019; 31(3): 1-14. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v31i330052>
8. Pereira W.A. *et al.* Navigating post-pandemic tilapia farming: a systematic review and meta-analysis of probiotic as a strategy for sustainable production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2025; 35(1): 95–116. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09917-4>
9. Пищенко Е.В., Морузи И.В. Мировые тенденции и перспективы выращивания карпа. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2022; (3): 164–177. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2203-01>
10. Cai J. Tilapia as an aquaculture species. Thompson K., Shoemaker C.A., Little D.C. (eds.). *Tilapia: Aquaculture, Biology and Health Management*. CABI. 2025; 26–60. <https://doi.org/10.1079/9781800629455.0002>
11. El-Sayed A.-F.M., Fitzsimmons K. From Africa to the world—The journey of Nile tilapia. *Reviews in Aquaculture*. 2023; 15(S1): 6–21. <https://doi.org/10.1111/raq.12738>
12. Desai A.S., Singh R.K. The effects of water temperature and ration size on growth and body composition of fry of common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of Thermal Biology*. 2009; 34(6): 276–280. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.03.005>
13. Schaafsma G. The protein digestibility-corrected amino acid score. *Journal of Nutrition*. 2000; 130(7): 1865S–1867S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1865S>
14. Millward D.J., Layman D.K., Tomé D., Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2008; 87(5): 1576S–1581S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1576S>
15. Yi Lm, Lakemond C.M.M., Sagis L.M.C., Eisner-Schadler V., van Huis A., van Boekel M.A.J.S. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*. 2013; 141(4): 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>
16. Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)—A Concept for Describing Protein Quality in Foods and Food Ingredients: A Critical Review. *Journal of AOAC International*. 2005; 88(3): 988–994. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.3.988>
17. Moughan P.J., Lim W.X.J. Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. *Frontiers in Nutrition*. 2024; 11: 1389719. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719>
18. Салех Х., Хамви М.Н. Влияние разных уровней L-изолейцина в комбикормах на рост тилапии (*Oreochromis niloticus*). *Аграрная наука*. 2024; (9): 54–59 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-54-59>
19. Gilani G.S. Background on international activities on protein quality assessment of foods. *British Journal of Nutrition*. 2012; 108(S2): S168–S182. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002383>
20. Sarwar G., McDonough F.E. Evaluation of protein digestibility-corrected amino acid score method for assessing protein quality of foods. *Journal — Association of Official Analytical Chemists*. 1990; 73(3): 347–356.
21. Ciuris C., Lynch H.M., Wharton C., Johnston C.S. A Comparison of Dietary Protein Digestibility, Based on DIAAS Scoring, in Vegetarian and Non-Vegetarian Athletes. *Nutrients*. 2019; 11(12): 3016. <https://doi.org/10.3390/nu11123016>
22. Колмаков В.И., Колмакова А.А. Аминокислоты в перспективных кормах для аквакультуры рыб: обзор экспериментальных данных. *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2020; 13(4): 424–442. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0332>
4. Peres H. *et al.* Growth performance and metabolic responses of Nile tilapia fed diets with different protein to energy ratios. *Aquaculture*. 2021; 547: 737493. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737493>
5. Araújo F.E. *et al.* Assessment of isoleucine requirement of fast-growing Nile tilapia fingerlings based on growth performance, amino acid retention, and expression of muscle growth-related and *mTOR* genes. *Aquaculture*. 2021; 539: 736645. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736645>
6. El-Sayed A.-F.M. *et al.* Dietary organic acid blend modulates hemato-immunological parameters, digestive and reproductive performances in red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*) broodstock. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2025; 51(1): 41. <https://doi.org/10.1007/s10695-025-01459-1>
7. Prabu E., Rajagopalsamy C.B.T., Ahilan B., Jeevagan I.J.M.A., Renuhadevi M. Tilapia — An Excellent Candidate Species for World Aquaculture: A Review. *Annual Research & Review in Biology*. 2019; 31(3): 1-14. <https://doi.org/10.9734/arrb/2019/v31i330052>
8. Pereira W.A. *et al.* Navigating post-pandemic tilapia farming: a systematic review and meta-analysis of probiotic as a strategy for sustainable production. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2025; 35(1): 95–116. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09917-4>
9. Pishchenko E.V., Moruzi I.V. Global trends and prospects of carp cultivation. *Fish Breeding and Fisheries*. 2022; (3): 164–177 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-09-2203-01>
10. Cai J. Tilapia as an aquaculture species. Thompson K., Shoemaker C.A., Little D.C. (eds.). *Tilapia: Aquaculture, Biology and Health Management*. CABI. 2025; 26–60. <https://doi.org/10.1079/9781800629455.0002>
11. El-Sayed A.-F.M., Fitzsimmons K. From Africa to the world—The journey of Nile tilapia. *Reviews in Aquaculture*. 2023; 15(S1): 6–21. <https://doi.org/10.1111/raq.12738>
12. Desai A.S., Singh R.K. The effects of water temperature and ration size on growth and body composition of fry of common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of Thermal Biology*. 2009; 34(6): 276–280. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.03.005>
13. Schaafsma G. The protein digestibility-corrected amino acid score. *Journal of Nutrition*. 2000; 130(7): 1865S–1867S. <https://doi.org/10.1093/jn/130.7.1865S>
14. Millward D.J., Layman D.K., Tomé D., Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2008; 87(5): 1576S–1581S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1576S>
15. Yi Lm, Lakemond C.M.M., Sagis L.M.C., Eisner-Schadler V., van Huis A., van Boekel M.A.J.S. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry*. 2013; 141(4): 3341–3348. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.115>
16. Schaafsma G. The Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS)—A Concept for Describing Protein Quality in Foods and Food Ingredients: A Critical Review. *Journal of AOAC International*. 2005; 88(3): 988–994. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.3.988>
17. Moughan P.J., Lim W.X.J. Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. *Frontiers in Nutrition*. 2024; 11: 1389719. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719>
18. Saleh H., Hamwi M.N. The effect of different levels of L-isoleucine in compound feeds on the growth of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Agrarian science*. 2024; (9): 54–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-54-59>
19. Gilani G.S. Background on international activities on protein quality assessment of foods. *The British Journal of Nutrition*. 2012; 108(S2): S168–S182. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002383>
20. Sarwar G., McDonough F.E. Evaluation of protein digestibility-corrected amino acid score method for assessing protein quality of foods. *Journal — Association of Official Analytical Chemists*. 1990; 73(3): 347–356.
21. Ciuris C., Lynch H.M., Wharton C., Johnston C.S. A Comparison of Dietary Protein Digestibility, Based on DIAAS Scoring, in Vegetarian and Non-Vegetarian Athletes. *Nutrients*. 2019; 11(12): 3016. <https://doi.org/10.3390/nu11123016>
22. Kolmakov V.I., Kolmakova A.A. Amino acids in prospective feeds for fish aquaculture: a review of experimental data. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2020; 13(4): 424–442 (in Russian). <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0332>

23. Savitikadi P., Pullakhandam R., Kulkarni B., Kumar B.N., Reddy G.B., Reddy V.S. Chronic Effects of Maternal Low-Protein and Low-Quality Protein Diets on Body Composition, Glucose-Homeostasis and Metabolic Factors, Followed by Reversible Changes upon Rehabilitation in Adult Rat Offspring. *Nutrients*. 2021; 13(11): 4129. <https://doi.org/10.3390/nu13114129>
24. Шаповалов С.О., Корнилова Е.В., Шкаленко В.В., Японцев А.Э. Результаты сравнительных исследований экструдированных кормов для форели. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022; (1): 122–127. EDN LQMZWZ
25. Буряков Н.П. и др. Применение инфракрасной спектроскопии ближнего спектра для идентификации и количественного определения аминокислот в их кристаллической и солевой формах при приготовлении кормов для животных. *Аграрная наука*. 2023; (12): 90–94 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-90-94>
26. Osman A.G.M, Farrag M.M.S., Badrey A.E.A., Khedr Z.M.A., Kloas W. Water quality and health status of the monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system (ASTAF-PRO). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 2021; 25(2): 785–802.
27. Abdel-Warith A.-W., Al-Asgah N., El-Sayed Y., El-Otaby A., Mahboob S. The effect of replacement of fish meal with Amino Acids and Optimized Protein Levels in the diet of the Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Revista Brasileira de Biologia*. 2019; 79(4): 703–711. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.189413>
28. Lemos C.H.d.P. et al. Responses to graded levels of zinc amino acid complex in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Research Communications*. 2024; 48(2): 1025–1036. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10278-9>
29. Gaye-Siessegger J., Focken U., Abel H., Becker K. Influence of dietary non-essential amino acid profile on growth performance and amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2007; 146(1): 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.09.025>
23. Savitikadi P., Pullakhandam R., Kulkarni B., Kumar B.N., Reddy G.B., Reddy V.S. Chronic Effects of Maternal Low-Protein and Low-Quality Protein Diets on Body Composition, Glucose-Homeostasis and Metabolic Factors, Followed by Reversible Changes upon Rehabilitation in Adult Rat Offspring. *Nutrients*. 2021; 13(11): 4129. <https://doi.org/10.3390/nu13114129>
24. Shapovalov S.O., Kornilova E.V., Shkalenko V.V., Yaponsev A.E. Results of comparative studies of extruded trout feeds. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2022; (1): 122–127 (in Russian). EDN LQMZWZ
25. Buryakov N.P. et al. Application of near infrared spectroscopy for identification and quantitative determination of amino acids in their crystalline and salt forms in the preparation of animal feed. *Agrarian science*. 2023; (12): 90–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-90-94>
26. Osman A.G.M, Farrag M.M.S., Badrey A.E.A., Khedr Z.M.A., Kloas W. Water quality and health status of the monosex Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* cultured in aquaponics system (ASTAF-PRO). *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*. 2021; 25(2): 785–802.
27. Abdel-Warith A.-W., Al-Asgah N., El-Sayed Y., El-Otaby A., Mahboob S. The effect of replacement of fish meal with Amino Acids and Optimized Protein Levels in the diet of the Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Brazilian Journal of Biology*. 2019; 79(4): 703–711. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.189413>
28. Lemos C.H.d.P. et al. Responses to graded levels of zinc amino acid complex in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Veterinary Research Communications*. 2024; 48(2): 1025–1036. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10278-9>
29. Gaye-Siessegger J., Focken U., Abel H., Becker K. Influence of dietary non-essential amino acid profile on growth performance and amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2007; 146(1): 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2006.09.025>

ОБ АВТОРАХ

Салех Хатем¹

аспирант
hatemsaleh193@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-1930-808X>

Николай Петрович Буряков¹

доктор биологических наук, профессор
n.buryakov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6776-0835>

Юрий Иванович Есавкин¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Uiesavkin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4490-6416>

Сергей Олегович Шаповалов^{1,2}

- доктор биологических наук, профессор¹;
- директор²

s.shapovalov@cherkizovo.com
<https://orcid.org/0000-0002-5630-5247>

Дмитрий Евгеньевич Алешин¹

кандидат биологических наук
d.aleshin@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4119-1451>

Марина Николаевна Долгая³

кандидат биологических наук, научный редактор
dolgaya@vicgroup.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3123-6641>

¹ Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 54, Москва, 127434, Россия

² ООО «Научно-испытательный центр НИЦ «Черкизово»», Дорожная ул., 14, дер. Яковлевское, Москва, 143340, Россия

³ ООО «ГК ВИК», дер. Островцы, квартал 30137, стр. 681, г.о. Раменский, Московская обл., 140125, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Saleh Hatem¹

Graduate Student
hatemsaleh193@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-1930-808X>

Nilolay Petrovich Buryakov¹

Doctor of Biological Sciences, Professor
n.buryakov@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6776-0835>

Esavkin Yuri Ivanovich¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Uiesavkin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4490-6416>

Sergei Olegovich Shapovalov^{1,2}

- Doctor of Biological Sciences, Professor¹;
- direktor²

s.shapovalov@cherkizovo.com
<https://orcid.org/0000-0002-5630-5247>

Dmitrii Evgenyevich Aleshin¹

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
d.aleshin@rgau-msha.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4119-1451>

Marina Nikolaevna Dolgaya³

Candidate of Biological Sciences, Scientific Editor
dolgaya@vicgroup.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3123-6641>

¹ Russian State Agrarian University — K.A. Timiryazev Agricultural Academy, 54 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia

² LLC SIC «Cherkizovo», 14 Dorozhnaya st., Yakovlevskoye village, Moscow, 143340, Russia

³ «VIC Group of Companies» LLC, 30137 block, 681 building, Ostrovtsy village, Ramenskoye City District, Moscow region, 140125, Russia

УДК 636.4.085.1:591.1:577.3

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-65-71

К.С. Остренко**Р.В. Некрасов** ✉**Н.В. Боголюбова**

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ
им. академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, Московская обл.,
Россия

✉ nek_roman@mail.ru

Поступила в редакцию: 05.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Остренко К.С., Некрасов Р.В.,
Боголюбова Н.В.

Антиоксидантный статус организма свиней при скармливании комбикормов с мукой из личинок *Hermetia Illucens*

РЕЗЮМЕ

Цель исследования — оценить влияние включения муки из личинок *Hermetia illucens* и рыбной муки в низкопротеиновый рацион на антиоксидантный статус и маркеры окислительного стресса у свиней.

Эксперимент проведен на 24 свиньях, разделенных на 3 группы по 8 голов. Контрольная группа получала низкопротеиновый комбикорм. Животным 1-й опытной группы в рацион дополнительно включали 3% муки из личинок *Hermetia illucens*, 2-й опытной — 3% рыбной муки. В конце опыта в сыворотке крови определяли концентрацию общих тиолов (SH), дисульфидов (SS), малонового диальдегида (МДА) и активность супероксид-дисмутазы (СОД) с использованием коммерческих иммуноферментных наборов. Рассчитывали редокс-индекс (SH/SS).

В контрольной группе на фоне ограниченного по протеину кормления выявлены признаки умеренного окислительного стресса (повышенный МДА). Включение муки из личинок *H. illucens* привело к наиболее выраженным позитивным изменениям: уровни МДА и СОД снизились на 33,2 и 14,4% ($p < 0,05$), соответственно, концентрация SS — на 15,6% ($p < 0,05$) при росте SH на 4,1% ($p < 0,05$), что повысило редокс-индекс на 23,2% ($p < 0,05$). В группе с рыбной мукой также отмечено достоверное, но менее выраженное улучшение показателей: снижение МДА на 14,1% и рост SH/SS на 11,8% при отсутствии изменений активности СОД. Мука из личинок черной львинки может являться не только альтернативой рыбной муке при балансировании рациона по протеину, но и проявлять антиоксидантный эффект. Выявленные отдельные эффекты снижения окислительного стресса при использовании муки из личинок черной львинки необходимо уточнить в производственных испытаниях при масштабировании опыта, что позволит рекомендовать ее в качестве функциональной кормовой добавки в дальнейшем.

Ключевые слова: подсосинки, *H. Illucens*, рыбная мука, антиоксидантный статус, редокс потенциал

Для цитирования: Остренко К.С., Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В. Антиоксидантный статус организма свиней при скармливании комбикормов с мукой из личинок *Hermetia Illucens*. *Аграрная наука*. 2026; 406(05): 65–71.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-65-71>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-65-71

Konstantin S. Ostrenko**Roman V. Nekrasov** ✉**Nadezhda V. Bogolyubova**

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Dubrovitsy, Podolsk
Municipal District, Moscow Region,
Russia

✉ nek_roman@mail.ru

Received by the editorial office: 05.02.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Ostrenko K.S., Nekrasov R.V.,
Bogolyubova N.V.

Antioxidant status of pigs fed compound feeds containing *Hermetia illucens* larvae meal

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of dietary inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal and fishmeal in a low-protein diet on the antioxidant status and oxidative stress markers in pigs.

The experiment was conducted on 24 pigs divided into 3 groups of 8 animals each. The control group received a basal low-protein compound feed (CP). Animals in the first experimental group were fed a diet supplemented with 3% *Hermetia illucens* larvae meal, while the second experimental group received 3% fishmeal. At the end of the experiment, serum concentrations of total thiols (SH), disulfides (SS), malondialdehyde (MDA), and superoxide dismutase (SOD) activity were determined using commercial enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kits. The redox index (SH/SS ratio) was calculated.

In the control group, under protein-restricted feeding, signs of moderate oxidative stress were detected (elevated MDA). The inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal led to the most pronounced positive changes: MDA and SOD levels decreased by 33.2% and 14.4% ($p < 0,05$), respectively; the SS concentration decreased by 15.6% ($p < 0,05$), while SH increased by 4.1 % ($p < 0,05$), which raised the redox index by 23.2% ($p < 0,05$). In the fishmeal group, a significant but less pronounced improvement in parameters was also observed: a 14.1% decrease in MDA and an 11.8% increase in the SH/SS ratio, with no changes in SOD activity. *Hermetia illucens* (black soldier fly) larvae meal can not only serve as an alternative to fishmeal for balancing the diet in terms of protein, but also exert an antioxidant effect. The observed individual effects of reducing oxidative stress when using black soldier fly larvae meal need to be confirmed in production trials during scale-up, which will allow it to be recommended as a functional feed additive in the future.

Key words: pigs, *H. Illucens*, fish meal, antioxidant status, redox potential

For citation: Ostrenko K.S., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V. Antioxidant status of pigs fed compound feeds containing *Hermetia illucens* larvae meal. *Agrarian science*. 2026; 406(05): 65–71 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-65-71>

Введение/Introduction

Интенсификация животноводства и повышение продуктивности сельскохозяйственных животных сопровождаются ростом метаболической нагрузки на организм, что может приводить к усилению окислительного стресса [1–3]. Данное состояние, характеризующееся дисбалансом между образованием активных форм кислорода (АФК) и активностью антиоксидантной системы, негативно сказывается на основных физиологических показателях, иммунном статусе и репродуктивной функции у свиней [4].

Научную и практическую ценность представляет новый ингредиент — мука из личинок *Hermetia illucens* (чёрная львинка). Данный продукт позиционируется не просто как альтернативный источник белка и эссенциальных аминокислот с высоким коэффициентом переваримости, но и как биологическая матрица, обладающая выраженным антиоксидантным потенциалом. Наличие в ее составе комплекса вторичных метаболитов и биоактивных пептидов позволяет рассматривать данный кормовой ингредиент, как многофункциональный компонент, способный одновременно выполнять пластическую, энергетическую и протекторную функции в кормлении свиней [5, 6]. Центральным компонентом, определяющий данный биологический эффект, является лауриновая кислота (C12:0), содержание которой в липидах личинок может достигать 40–60%. Помимо известных антимикробных свойств, лауриновая кислота демонстрирует выраженную антиоксидантную активность [7]. Представленная жирная кислота позволяет ингибировать процессы перекисного окисления липидов в клеточных мембранах, защищая их целостность и функциональность, а также опосредованно влияя на активность ключевых антиоксидантных ферментов, таких как супероксиддисмутаза, каталаза и глутатионпероксидаза [8,9]. Хитин и его производные (хитозан) обладают хелатирующими свойствами в отношении ионов металлов с переменной валентностью (Fe, Cu), катализирующих образование АФК, а также способны непосредственно нейтрализовать свободные радикалы [10–13]. Антимикробные пептиды (дефензины, цекропины), синтезируемые личинками, помимо прямой защиты от патогенов, могут снижать уровень воспаления, являющегося мощным источником окислительного стресса. Микроэлементы-кофакторы (селен, цинк, медь), необходимые для синтеза и работы эндогенных антиоксидантных ферментов [14–17].

Таким образом, включение муки из личинок черной львинки в комбикорма для свиней представляет собой стратегию многофакторного усиления антиоксидантной системы организма. Подобранный подход может быть более эффективным

по сравнению с использованием отдельных синтетических антиоксидантов, так как предполагает комбинированное действие различных природных соединений с разными механизмами защиты.

Цель исследования — изучить влияние скормливания комбикормов с мукой из личинок *Hermetia illucens* на антиоксидантный статус организма свиней в сравнении с рыбной мукой на фоне рациона кормления с низким содержанием сырого протеина.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент проведен в 2024 году на 24 головах помесных боровков (F-1: Дюрок х Ландрас) с начальной живой массой 17–21 кг, приобретенных в ООО «ЭКО ФЕРМА «Климовская» (Калужская обл., Боровский район, дер. Климовское). По принципу пар-аналогов (на основе возраста и живой массы) было сформировано 3 группы животных, по 8 голов в каждой. Продолжительность исследования составила 35 суток.

Опыт проводили по стандартам GLP и положениям Хельсинкской декларации¹, а также законодательства РФ².

Животные находились в специализированном производственном помещении, оснащенном всеми необходимыми инструментами и оборудованием для раздачи кормов. Животные содержались в секциях (2,5 x 3,5 м) по 8 голов в каждой. Условия содержания обеспечивали постоянный доступ к рациону питания и чистой питьевой воде на весь период эксперимента. Уход за животными и условия их содержания строго соответствовали установленным нормам — температурный режим, влажность, освещение и воздухообмен поддерживались в рамках требований ветеринарии и гигиены. Схема опыта представлена в табл. 1.

Согласно данным, уровень содержания сырого протеина более 18% в 1 кг сухого корма обеспечивает высокий уровень приростов свиней в период доращивания [18]. Для сравнительного опыта использовали контрольную группу поросят (отрицательный контроль) в период доращивания, кормление которых осуществляли рационом с пониженным содержанием сырого протеина

Таблица 1. Схема проведения физиологических исследований

Table 1. The scheme of physiological research

Группа	Голов в группе	Характеристика кормления
Контрольная	8	Низкопротеиновый комбикорм по рецепту 1 (содержание СП 163,5 г/кг комбикорма)
1-опытная	8	Комбикорм по рецепту 2 (содержание СП 181,4 г/кг комбикорма)
2-опытная	8	Комбикорм по рецепту 3 (содержание СП 181,9 г/кг комбикорма)

¹ Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf

² Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

на уровне 163,5 г/кг, обеспечивающего средний уровень приростов живой массы тела, что является ограничением для данного эксперимента. Аналогом из 2-й опытной группы задавали свиной комбикорм по рецепту 2, в состав которого дополнительно вносили 3% муки из личинок черной львинки для повышения уровня СП до 181 г/кг комбикорма. Мука была приготовлена с использованием личинок черной львинки, полученных в условиях отдела кормления сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им Л.К. Эрнста и содержала в своем составе не менее 55% СП. Поросята 3-й опытной группы получали комбикорм по рецепту 3, в который дополнительно включали 3% рыбной муки (табл. 2)

Таким образом, состав комбикорма для контрольной группы был дефицитным по сырому протеину, составы комбикормов для поросят опытных групп (1 и 2) соответствовали по показателям питательной ценности требованиям для данного возрастного периода и весовых показателей животных для получения высоких уровней приростов [18].

В период опыта проводился индивидуальный учет показателей роста животных. Для определения приростов живой массы (абсолютного (АП, кг), среднесуточного (ССП, г) в начале и в конце опытного периода проводили индивидуальное взвешивание животных (в утренние часы) на электронных весах «Реус-А» (ООО «Тензосила», Россия, III класс точности, СИ поверены).

В конце периода дорастивания у животных были отобраны образцы крови из яремной вены ($n = 8$). Отбор крови осуществляли утром из яремной вены в вакуумные пробирки (IMPROVACUTER, Китай) объемом 6 мл (с активатором свертывания). После взятия биоматериала немедленно охлаждали до +4 °С в холодильнике медицинском «Енисей» («ДАР-МЕДИКАЛ», Россия) для замедления метаболических процессов и окислительных реакций *ex vivo*.

Для получения сыворотки охлажденную кровь центрифугировали на лабораторной центрифуге LC-04A («Армед», Россия) при температуре +4 °С. Использовали 1500–3000 г в течение 10–15 минут. Полученную сыворотку аккуратно отбирали в микропробирки типа Эппендорф объемом 2 мл. Образцы замораживали и хранили при температуре -18 °С в биомедицинском морозильнике DW-40L262 (Haier, Китай) до момента проведения биохимического анализа. Размораживание образцов проводили однократно при комнатной температуре непосредственно перед исследованием.

Концентрацию исследуемых маркеров в сыворотке крови проводили на планшетном ридере «Униплан АИФР-01» («Спекс», Россия) согласно протоколам производителей. Длины волн для каждого теста устанавливали в соответствии

Таблица 2. Состав комбикормов для свиней подопытных групп³

Table 2. Composition of compound feed for experimental groups of pigs³

Компонент, %	Рецепт комбикорма ¹		
	№1	№2	№3
Пшеница	25,000	24,230	24,230
Отруби пшеничные	20,860	20,210	20,210
Ячмень	20,000	19,380	19,380
Кукуруза	13,000	12,600	12,600
Жмых подсолнечный	15,000	14,540	14,540
Дрожжи кормовые	3,000	2,900	2,900
Соль поваренная	0,420	0,420	0,420
Монокальцийфосфат	0,220	0,220	0,220
Известняковая мука	1,300	1,300	1,300
Премикс КС-4	1,000	1,000	1,000
Монохлоргидрат лизина	0,200	0,200	0,200
Мука из личинок чёрной львинки	–	3,000	–
Рыбная мука	–	–	3,000

с требованиями инструкции к набору (с референс-волной 400–550 нм в зависимости от детекции).

Общие сульфгидрильные группы (SH), набор «Total Sulfhydryl (SH) Groups Assay Kit (Colorimetric)» (BioVision, США). Принцип метода: реакция SH-групп с 5,5'-дитиобис-(2-нитробензойной кислотой) (DTNB) с образованием продукта, имеющего максимум поглощения при 412 нм.

Дисульфидные связи (SS) — набор «Disulfide (SS) Assay Kit» (BioVision, США). Метод основан на восстановлении дисульфидных связей с последующим детектированием SH-групп по реакции с DTNB. Расчет содержания SS выполняли по разности между общим количеством SH-групп после восстановления и исходным уровнем SH максимум поглощения при 450 нм.

Малоновый диальдегид (МДА) — набор «Malondialdehyde (MDA) ELISA Kit» (MyBioSource, США). Реакция МДА с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) при высокой температуре и кислом pH с образованием окрашенного комплекса (ТБК-активные продукты). Измерение проводили при длине волны 532 нм.

Супероксиддисмутаза (СОД) — набор для измерения активности «Superoxide Dismutase (SOD) Activity Assay Kit» (Cayman Chemical, США). Метод основан на использовании ксантина и ксантиноксидазы для генерации супероксид-анионов, которые восстанавливают тетразолиевую соль до формазана. Активность СОД оценивали по степени ингибции этого восстановления; детекция при 450 нм.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного обеспечения Statistica 8.0. Результаты представлены как среднее арифметическое $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm SD$). Критический уровень значимости принимали равным $p < 0,05$.

³ Некрасов Р.В., Головин А.В., Махаев Е.А., Аникин А.С., Первов Н.Г., Стрекозов Н.И., Мысик А.Т., Дуборезов В.М., Чабаяев М.Г., Фомичев Ю.П., Гусев И.В. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография. М., 2018

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В ходе исследования было выявлено, что доп-полнение уровня протеина в рационе с 163,5 до нормы (по факту 181,4–181,9 г/кг комбикорма) оказывает положительное влияние не только на рост животных, но и модулирующее влияние на прооксидантно-антиоксидантный баланс орга-низма свиней, что проявилось в изменении изу-чаемых в сыворотке крови показателей при вве-дении высокопротеиновых компонентов (муки из личинок *Hermetia illucens* и рыбной муки) в низко-протеиновый комбикорм (табл. 3).

Полученные в исследовании данные демон-стрируют, что восполнение уровня сырого протеи-на в рационе свиней до требуемой нормы (не ме-нее 18% в сухом корме) путем включения 3% муки из личинок *Hermetia illucens* оказывает выражен-ное модулирующее влияние на систему «проок-сиданты-антиоксиданты», эффективно нивелируя проявления окислительного стресса, индуциро-ванного низкопротеиновым рационом. Одним из основных эффектов применения изучаемой кор-мовой добавки является комплексное улучшение тиол-дисульфидного статуса и снижение уровня малонового диальдегида (МДА), что согласуется с современными представлениями о роли тиол-ди-сульфидного гомеостаза как интегрального мар-кера метаболического здоровья животных [19].

Дополнение состава рациона 3% муки из ли-чинок *Hermetia illucens* (опытная группа 1) оказа-ло выраженное модулирующее действие на анти-оксидантную систему организма свиней. Добавка проявила себя не просто как восполняющая нор-му потребности свиней в содержании протеина, но и как стимулятор отдельных звеньев защиты, как фактор, комплексно смещающий физиологи-ческое состояние животных в сторону значитель-ного снижения общей окислительной нагрузки. Наиболее ярким свидетельством этого является достоверное ($p < 0,05$) снижение уровня МДА на 33,2%, что указывает на эффективное ингибиро-вание цепных реакций ПОЛ. Этот эффект являет-ся прямым следствием уникального состава муки, в частности, высокого содержания лауриновой кислоты, которая, интегрируясь в липидный бис-лой клеточных мембран, повышает их структур-ную устойчивость к окислению, а также наличия хитина/хитозана, способных к хелатированию ио-нов переходных металлов, катализирующих сво-боднорадикальные процессы, как указывают ряд источников [14, 15].

Выявленное в контрольной группе смещение баланса в сторону окисленных форм (снижение SH/SS) является классическим признаком окси-дационного стресса, развивающегося на фоне ами-нокислотного дисбаланса. Как показано в работах Szczepaniak и др. [20], именно тиол-дисульфид-ная система (TDH) выступает наиболее чувстви-тельным индикатором стресс-индуцированных изменений у свиней. Дефицит серосодержащих

Таблица 3. Показатели антиоксидантного статуса свиней ($M \pm m$, $n = 8$)

Table 3. Indicators of antioxidant status of pigs ($M \pm m$, $n = 8$)

Показатель	Группа		
	Контроль	1-опытная	2-опытная
SH (мкмоль/л)	$0,73 \pm 0,01$	$0,76 \pm 0,01^*$	$0,74 \pm 0,02$
SS (мкмоль/л)	$0,32 \pm 0,01$	$0,27 \pm 0,02^*$	$0,29 \pm 0,02$
SH/SS	$2,28 \pm 0,11$	$2,81 \pm 0,09^*$	$2,55 \pm 0,13$
МДА (нмоль/л)	$14,14 \pm 0,12$	$9,44 \pm 0,10^*$	$12,14 \pm 0,18^*$
СОД (мкмоль/мл)	$786,60 \pm 23,36$	$673,00 \pm 15,10^*$	$768,0 \pm 33,67$

Примечание: достоверно при $* p < 0,05$

аминокислот (метионина, цистеина) в низкопро-теиновых рационах лимитирует синтез восста-новленного глутатиона (GSH), что неизбежно ве-дет к накоплению дисульфидов (SS) и падению редокс-индекса. В нашем исследовании, вве-дение муки, полученной из личинки *Hermetia illucens*, достоверно снизило уровень SS на 15,6% и повысило SH/SS на 23,2%, что свидетельствует о восстановлении пула эндогенных тиолов. Это коррелирует с данными Ушакова и др. [21], пока-завшими, что гидролизаты *Hermetia illucens* обла-дают мощным цитопротекторным действием, напрямую повышая уровень восстановленного глутатиона в клетках печени.

Эффективность добавки именно на уровне ин-гибирования перекисного окисления липидов (снижение МДА на 33,2%) объясняется синергиз-мом нескольких биоактивных компонентов, при-сутствующих в личинках. Во-первых, жирнокис-лотный профиль: наличие лауриновой кислоты (C12:0) повышает структурную стабильность мем-бран, снижая их уязвимость для атаки свобод-ными радикалами. Во-вторых, хитин и хитозан, входящие в состав экзоскелета, обладают выра-женными хелатирующими свойствами в отноше-нии ионов Fe^{2+} и Cu^{2+} , которые являются клас-сическими прооксидантами, катализирующими реакции Фентона [19].

Позитивные сдвиги были зафиксированы и в системе тиол-дисульфидного гомеостаза. Уста-новлено достоверное снижение ($p < 0,05$) уровня дисульфидов (SS) на 15,6% на фоне роста концен-трации свободных тиолов (SH) на 4,1% привело к резкому увеличению (на 23,2%) интегрального редокс-индекса (SH/SS). Данное изменение от-ражает смещение редокс-баланса плазмы крови в восстановительную сторону, свидетельствуя о по-вышении резерва восстановленного глутатиона и снижении уровня окисленных белковых структур.

В традиционной интерпретации высокий уро-вень СОД рассматривается как защитная реак-ция на избыток супероксид-аниона ($O_2^{\cdot-}$). Однако, как отмечает Chia и др., в условиях эффективного антиоксидантного статуса снижение активности СОД свидетельствует об улучшении физиологи-ческого состояния, поскольку снижается субстрат-ная нагрузка на фермент (уменьшается генерация $O_2^{\cdot-}$ в митохондриях), что подтверждается низким

уровнем МДА. Если бы стресс сохранялся, активность СОД оставалась бы высокой или возрастала компенсаторно. В этих же исследованиях также было показано, что добавление *Hermetia illucens* в рацион поросят в условиях плохой санитарии приводило к нормализации антиоксидантных ферментов, включая СОД и глутатионпероксидазу, что коррелирует с полученными данными о снижении уровня окислительного стресса [22].

Во второй опытной группе, получавшей 3% рыбной муки, наблюдалась аналогичная, но статистически менее выраженная тенденция улучшения антиоксидантного статуса. Зафиксировано достоверное снижение ($p < 0,05$) МДА на 14,1% и повышение редокс-индекса SH/SS на 11,8%. Однако отсутствие значимых изменений в активности СОД, по сравнению с контролем, указывает на то, что оксидативная нагрузка в этой группе оставалась более высокой, а антиоксидантная система продолжала функционировать в режиме компенсаторной активации. Это может быть связано с двойственной ролью длинноцепочечных омега-3 полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), содержащихся в рыбной муке: с одной стороны, они служат субстратом для синтеза противовоспалительных медиаторов, но с другой, из-за высокой степени ненасыщенности сами являются уязвимой мишенью для ПОЛ, что требует от организма дополнительных ресурсов для их защиты.

В ходе проведенных исследований было установлено, что применение муки из личинки черной львинки в составе комбикорма для поросят на доращивании способствует более выраженной реализации генетического потенциала продуктивности (табл. 4).

Так, в 1-й опытной группе (3% муки из личинок *Hermetia illucens*) абсолютный прирост составил 21,63 кг, что на 9,9% ($p < 0,05$) выше контроля; во 2-й опытной группе (3% рыбной муки) — 21,96 кг (+11,5%, $p < 0,05$). Среднесуточный прирост в контрольной группе находился на уровне 530 г/сут., тогда как в 1-й опытной группе он достиг 618 г/сут. (+16,6%), а во 2-й — 627 г/сут. (+18,3%, $p < 0,05$). Живая масса в конце опыта в опытных группах превысила контроль на 10,2–10,9%.

Выявленные различия в продуктивности не могут быть объяснены исключительно уровнем протеина и аминокислотным профилем кормов, поскольку содержание сырого протеина в рационах животных опытных групп было выровнено. Следовательно, в основе наблюдаемого эффекта лежат метаболические механизмы, связанные с модуляцией прооксидантно-антиоксидантного баланса.

В таблице 3 было показано, что включение муки из личинок *Hermetia illucens* в рацион сопровождается изменением редокс потенциала у свиней. Снижение хронического оксидативного стресса является ключевым фактором, лимитирующим скорость роста у свиней. Оксидативный стресс индуцирует катаболизм белков, снижает эффективность использования аминокислот и ухудшает энергетический метаболизм митохондрий [19]. В условиях дефицита серосодержащих аминокислот (контрольная группа) происходит накопление дисульфидов (SS), что нарушает работу ключевых ферментов дыхательной цепи и снижает синтез АТФ. Напротив, восстановление редокс-гомеостаза в опытных группах позволило перенаправить метаболические ресурсы с антиоксидантной защиты на анаболические процессы — синтез белка и аккумуляцию роста мышечной массы, что подтверждает разница в продуктивности между 1-й и 2-й опытными группами на уровне тенденции.

Мука из личинки *Hermetia illucens* представляет собой не просто альтернативный источник протеина, но функциональный ингредиент, который за счет антиоксидантных свойств (хитозан, лауриновая кислота) снижает метаболическую «цену» роста, высвобождая ресурсы для анаболизма. Полученные данные согласуются с выводами ряда исследований [23, 24], в которых также показана положительная корреляция между улучшением антиоксидантного статуса и продуктивностью свиней при использовании альтернативных источников протеина.

По результатам взвешивания в конце опыта наблюдалась тенденция к увеличению живой массы поросят опытных групп: среднесуточный прирост у животных во 1-й опытной группы за весь период был выше на 9,9 %, во 2-й опытной группе — на 10,9% по сравнению с аналогами из контрольной группы. На момент окончания исследования абсолютный прирост поросят опытных групп был выше на 9,9 и 11,5% ($p < 0,05$, соответственно, по сравнению с показателями в контрольной группе. Полученные данные подтверждают, что животные опытных групп лучше использовали питательные вещества корма на прирост живой массы тела. Также установлено, что использование муки из личинок черной львинки может служить альтернативой традиционным компонентам животного происхождения, в частности рыбной муке.

Таблица 4. Зоотехнические показатели поросят в период опыта ($M \pm m$, $n = 8$)

Table 4. Zootechnical indicators of pigs during the experiment period ($M \pm m$, $n = 8$)

Показатель	Группа		
	контрольная	1-опытная	2-опытная
Дней опыта	Период — 35 суток, в том числе уравнильный период 10 суток		
Живая масса в начале опыта, кг	19,3±1,3	19,4±1,2	19,3±1,4
Живая масса в конце периода, кг	39,0±4,17	41,03±2,51	41,26±3,98
Абсолютный прирост живой массы, кг	19,68±1,40	21,63±0,27*	21,96±0,55*
Среднесуточный прирост, г	530 ± 50	618 ± 42	627 ± 51*
Живая масса в % к контролю	100,0	110,2	110,9

Примечание: достоверно при * $p < 0,05$ к контролю

Выводы/Conclusions

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что мука из личинок черной львинки может являться не просто альтернативным источником протеина, а функциональной кормовой добавкой с антиоксидантным потенциалом, превосходящим по эффективности традиционно применяемую в рецептах комбикормов рыбную муку в условиях моделированного нутритивного стресса. Включение 3% муки из личинок черной львинки в рацион поросят в период докармливания не только компенсировало дефицит

белка, как и в группе с рыбной мукой, но повышало резистентность животных к оксидативному стрессу, вызванному низким по сырому протеину уровнем кормления. Это может транслироваться в улучшении здоровья, снижении падежа, усилении иммунного ответа и, в конечном итоге, в лучшие производственные показатели и качество продукции (за счет снижения окисления липидов *post mortem*), что планируется установить в дальнейших исследованиях при масштабировании применения муки из черной львинки в производственных условиях выращивания свиней.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках выполнения гранта Российского научного фонда № 24-16-00021

FUNDING

The research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 24-16-00021

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Szczepanik K., Furgał-Dierżuk I., Gala Ł., Świątkiewicz M. Effects of *Hermetia illucens* Larvae Meal and Astaxanthin as Feed Additives on Health and Production Indices in Weaned Pigs. *Animals*. 2023; 13(1): 163. <https://doi.org/10.3390/ani13010163>
2. Aprianto M.A., Muhlisin, Kurniawati A., Hanim C., Ariyadi B., Anas M.A. Effect supplementation of black soldier fly larvae oil (*Hermetia illucens* L.) calcium salt on performance, blood biochemical profile, carcass characteristic, meat quality, and gene expression in fat metabolism broilers. *Poultry Science*. 2023; 102(10): 102984. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102984>
3. Haak L., De Smet S., Fremaut D., Van Walleghem K., Raes K. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *Journal of Animal Science*. 2008; 86(6): 1418–1425. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0032>
4. Burnett D.D., Legako J.F., Phelps K.J., Gonzalez J.M. Biology, strategies, and fresh meat consequences of manipulating the fatty acid composition of meat. *Journal of Animal Science*. 2020; 98(2): skaa033. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa033>
5. Dabbou S. *et al.* Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2018; 9: 49. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
6. Noh S., Jin X., Jang M., Park M., Kim Y. Supplementation of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as a sustainable protein source on growth performance, blood profiles, immune response, and diarrhea incidence in weaning pigs. *Animal Bioscience*. 2026; 39(2): 250425. <https://doi.org/10.5713/ab.25.0425>
7. Zhu M. *et al.* Growth Performance and Meat Quality of Growing Pigs Fed with Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae as Alternative Protein Source. *Processes*. 2022; 10(8): 1498. <https://doi.org/10.3390/pr10081498>
8. Anuar N.S. *et al.* Lauric acid improves hormonal profiles, antioxidant properties, sperm quality and histomorphometric changes in testis and epididymis of streptozotocin-induced diabetic infertility rats. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2023; 470: 116558. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2023.116558>
9. Spranghers T. *et al.* Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 235: 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2017.08.012>
10. Pestov A., Bratskaya S. Chitosan and Its Derivatives as Highly Efficient Polymer Ligands. *Molecules*. 2016; 21(3): 330. <https://doi.org/10.3390/molecules21030330>
11. Bharathi V.U., Thambidurai S. Phytofabrication of biocompatible chitosan-based ZnO nanocomposite aided by *Cissus quadrangularis* extract enriched with antimicrobial and antioxidant potential. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 271(2): 132677. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132677>

REFERENCES

1. Szczepanik K., Furgał-Dierżuk I., Gala Ł., Świątkiewicz M. Effects of *Hermetia illucens* Larvae Meal and Astaxanthin as Feed Additives on Health and Production Indices in Weaned Pigs. *Animals*. 2023; 13(1): 163. <https://doi.org/10.3390/ani13010163>
2. Aprianto M.A., Muhlisin, Kurniawati A., Hanim C., Ariyadi B., Anas M.A. Effect supplementation of black soldier fly larvae oil (*Hermetia illucens* L.) calcium salt on performance, blood biochemical profile, carcass characteristic, meat quality, and gene expression in fat metabolism broilers. *Poultry Science*. 2023; 102(10): 102984. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102984>
3. Haak L., De Smet S., Fremaut D., Van Walleghem K., Raes K. Fatty acid profile and oxidative stability of pork as influenced by duration and time of dietary linseed or fish oil supplementation. *Journal of Animal Science*. 2008; 86(6): 1418–1425. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0032>
4. Burnett D.D., Legako J.F., Phelps K.J., Gonzalez J.M. Biology, strategies, and fresh meat consequences of manipulating the fatty acid composition of meat. *Journal of Animal Science*. 2020; 98(2): skaa033. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa033>
5. Dabbou S. *et al.* Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2018; 9: 49. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0266-9>
6. Noh S., Jin X., Jang M., Park M., Kim Y. Supplementation of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as a sustainable protein source on growth performance, blood profiles, immune response, and diarrhea incidence in weaning pigs. *Animal Bioscience*. 2026; 39(2): 250425. <https://doi.org/10.5713/ab.25.0425>
7. Zhu M. *et al.* Growth Performance and Meat Quality of Growing Pigs Fed with Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae as Alternative Protein Source. *Processes*. 2022; 10(8): 1498. <https://doi.org/10.3390/pr10081498>
8. Anuar N.S. *et al.* Lauric acid improves hormonal profiles, antioxidant properties, sperm quality and histomorphometric changes in testis and epididymis of streptozotocin-induced diabetic infertility rats. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2023; 470: 116558. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2023.116558>
9. Spranghers T. *et al.* Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 235: 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2017.08.012>
10. Pestov A., Bratskaya S. Chitosan and Its Derivatives as Highly Efficient Polymer Ligands. *Molecules*. 2016; 21(3): 330. <https://doi.org/10.3390/molecules21030330>
11. Bharathi V.U., Thambidurai S. Phytofabrication of biocompatible chitosan-based ZnO nanocomposite aided by *Cissus quadrangularis* extract enriched with antimicrobial and antioxidant potential. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 271(2): 132677. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132677>

12. Jasińska J.M., Kamińska I., Chmiel M.J., Jamróz E. Biological potential of polysaccharides extracted from Nostoc colonies for film production — Physical and biological properties. *Biotechnology Journal*. 2023; 18(5): e2200455. <https://doi.org/10.1002/biot.202200455>
13. Franco A, et al. Antimicrobial activity of lipids extracted from *Hermetia illucens* reared on different substrates. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2024 Jan 23; 108(1): 167. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13005-9>.
14. Liu Y.-Q., Song Q.-W., Mo C.-R., Yu W.-W., Hu C.-Y. Effect of neutralization treatment on properties of chitosan/bamboo leaf flavonoids/nano-metal oxide composite films and application of films in antioxidation of rapeseed oil. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023; 242(3): 124951. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124951>
15. Benzerthi A. et al. Insect Fat in Animal Nutrition — A Review. *Annals of Animal Science*. 2020; 20(4): 1217–1240. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0076>
16. Crosbie M., Zhu C., Karrow N.A., Huber L.-A. The effects of partially replacing animal protein sources with full fat black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) in nursery diets on growth performance, gut morphology, and immune response of pigs. *Translational Animal Science*. 2021; 5(2): txab057. <https://doi.org/10.1093/tas/txab057>
17. Yu M., Li Z., Chen W., Rong T., Wang G., Ma X. *Hermetia illucens* larvae as a potential dietary protein source altered the microbiota and modulated mucosal immune status in the colon of finishing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 50. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0358-1>
18. Некрасов Р.В., Головин А.В., Махаев Е.А. (ред.). Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах. Монография. М.: ФНЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. 2018; 289. ISBN 978-5-906906-77-9 EDN XLVDM
19. Семенова А.А., Кузнецова Т.Г., Насонова В.В., Некрасов Р.В., Боголюбова Н.В., Цис Е.Ю. Использование антиоксидантов в качестве адаптогенов для свиней (*Sus scrofa domestica* Erxleben, 1777) (мета-анализ). *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(6): 1107–1125. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1107rus>
20. Szczepanik K, Furgał-Dierżuk I, Gala Ł, Świątkiewicz M. Effects of *Hermetia illucens* Larvae Meal and Astaxanthin as Feed Additives on Health and Production Indices in Weaned Pigs. *Animals*. 2023; 13(1): 163. <https://doi.org/10.3390/ani13010163>
21. Ушакова Н.А., Бродский Е.С., Коваленко А.А., Бастрakov А.И., Козлова А.А., Павлов Д.С. Особенности липидной фракции личинок черной львинки *Hermetia illucens*. *Доклады Академии наук*. 2016; 468(4): 462–465. <https://doi.org/10.7868/S0869565216160258>
22. Chia S.Y. et al. Effect of Dietary Replacement of Fishmeal by Insect Meal on Growth Performance, Blood Profiles and Economics of Growing Pigs in Kenya. *Animals*. 2019; 9(10): 705. <https://doi.org/10.3390/ani9100705>
23. Крючков И.А., Никишов А.А. Влияние белкового концентрата из личинок черной львинки *Hermetia illucens* на продуктивные показатели цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2025; (4): 108–112. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-108-112>
24. Шаабан М., Бельшккина М.Е. Нетрадиционные источники белка в кормлении животных. *Аграрная наука*. 2025; (3): 69–75 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-69-75>

ОБ АВТОРАХ

Константин Сергеевич Остренко
доктор биологических наук, доцент
ostrenkoks@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2235-1701>

Роман Владимирович Некрасов
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Российской академии наук
nek_roman@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

Надежда Владимировна Боголюбова
доктор биологических наук
652202@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, поселок Дубровицы, дом 60, Городской округ Подольск, Московская область, 142132, Россия

12. Jasińska J.M., Kamińska I., Chmiel M.J., Jamróz E. Biological potential of polysaccharides extracted from Nostoc colonies for film production — Physical and biological properties. *Biotechnology Journal*. 2023; 18(5): e2200455. <https://doi.org/10.1002/biot.202200455>

13. Franco A, et al. Antimicrobial activity of lipids extracted from *Hermetia illucens* reared on different substrates. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2024 Jan 23; 108(1): 167. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13005-9>.

14. Liu Y.-Q., Song Q.-W., Mo C.-R., Yu W.-W., Hu C.-Y. Effect of neutralization treatment on properties of chitosan/bamboo leaf flavonoids/nano-metal oxide composite films and application of films in antioxidation of rapeseed oil. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023; 242(3): 124951. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124951>

15. Benzerthi A. et al. Insect Fat in Animal Nutrition — A Review. *Annals of Animal Science*. 2020; 20(4): 1217–1240. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0076>

16. Crosbie M., Zhu C., Karrow N.A., Huber L.-A. The effects of partially replacing animal protein sources with full fat black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) in nursery diets on growth performance, gut morphology, and immune response of pigs. *Translational Animal Science*. 2021; 5(2): txab057. <https://doi.org/10.1093/tas/txab057>

17. Yu M., Li Z., Chen W., Rong T., Wang G., Ma X. *Hermetia illucens* larvae as a potential dietary protein source altered the microbiota and modulated mucosal immune status in the colon of finishing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 50. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0358-1>

18. Nekrasov R.V., Golovin A.V., Makhaev E.A. (eds.). Norms of nutritional needs of dairy cattle and pigs. Monograph. Moscow: L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry. 2018; 289 (in Russian). ISBN 978-5-906906-77-9 EDN XLVDM

19. Semenova A.A., Kuznetsova T.G., Nasonova V.V., Nekrasov R.V., Bogolyubova N.V., Tsis E.Yu. Use of antioxidants as adaptogens fed to pigs (*Sus scrofa domestica* Erxleben, 1777) (meta-analysis). *Agricultural Biology*. 2020; 55(6): 1107–1125. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.6.1107eng>

20. Szczepanik K, Furgał-Dierżuk I, Gala Ł, Świątkiewicz M. Effects of *Hermetia illucens* Larvae Meal and Astaxanthin as Feed Additives on Health and Production Indices in Weaned Pigs. *Animals*. 2023; 13(1): 163. <https://doi.org/10.3390/ani13010163>

22. Ushakova N.A., Brodskii E.S., Kovalenko A.A., Bastrakov A.I., Kozlova A.A., Pavlov D.S. Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2016; 468(1): 209–212. <https://doi.org/10.1134/S1607672916030145>

23. Chia S.Y. et al. Effect of Dietary Replacement of Fishmeal by Insect Meal on Growth Performance, Blood Profiles and Economics of Growing Pigs in Kenya. *Animals*. 2019; 9(10): 705. <https://doi.org/10.3390/ani9100705>

24. Kryuchkov I.A., Nikisov A.A. Effect of protein concentrate from black soldier fly *Hermetia illucens* larvae on the productive performance of broiler chickens. *Agrarian science*. 2025; (4): 108–112 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-108-112>

25. Shaaban M., Belyshkina M.E. Non-traditional sources of protein in animal nutrition. *Agrarian science*. 2025; (3): 69–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-69-75>

ABOUT THE AUTHORS

Konstantin Sergeyevich Ostrenko
Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
ostrenkoks@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2235-1701>

Roman Vladimirovich Nekrasov
Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences
nek_roman@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

Nadezhda Vladimirovna Bogolyubova
Doctor of Biological Sciences
652202@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132 Russia

К.А. Березова

Д.А. Никанова

О.А. Артемьева ✉

Е.Н. Колодина

М.В. Довыденкова

Федеральный исследовательский
центр животноводства — ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста,
пос. Дубровицы, г.о. Подольск,
Московская область, Россия

✉ vijmikrob@mail.ru

Поступила в редакцию: 27.01.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Березова К.А., Никанова Д.А.,
Артемьева О.А., Колодина Е.Н.,
Довыденкова М.В.

Ksenia A. Berezova

Daria A. Nikanova

Olga A. Artemyeva ✉

Evgeniya N. Kolodina

Maria V. Dovydenkova

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Dubrovitsy, Podolsk
city district, Moscow region, Russia

✉ vijmikrob@mail.ru

Received by the editorial office: 27.01.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Berezova K.A., Nikanova D.A.,
Artemyeva O.A., Kolodina E.N.,
Dovydenkova M.V.

Влияние дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* на микробиоценоз и продуктивность цыплят-бройлеров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Дрожжи и продукты их переработки обладают комплексным позитивным воздействием на организм птицы, однако влияние каротиносинтезирующих дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* на микробиоценоз и продуктивность цыплят-бройлеров исследовано недостаточно. **Цель исследования** — изучить влияние микробной добавки на основе каротиносинтезирующих дрожжей *R. mucilaginosa* до и после процесса замораживания на микробиоценоз и показатели продуктивности бройлеров.

Методы. Исследования проведены на цыплятах-бройлерах кросса «Смена 9» ($n = 78$). По принципу групп-аналогов были сформированы 3 группы по 26 голов в каждой. Была применена технология выращивания в клеточных батареях. Птица контрольной группы получала основной рацион; 1-й опытной — дополнительно нативные дрожжи *R. mucilaginosa* (3 г/гол./сут., из расчета, что содержание каротиноидов составляло 312 мкг/г биомассы); 2-й опытной — дрожжи после замораживания-оттаивания в той же дозе. Изучали зоотехнические показатели и микробный состав содержимого прямой и слепой кишки методом ПЦР в реальном времени в 25 и 45 суток.

Результаты. Введение *R. mucilaginosa*, особенно после замораживания, способствовало повышению живой массы на 4,52%, среднесуточного прироста на 9,9%, а также массы окорочков на 11,91% ($p \leq 0,001$) и массы грудки на 2,72% ($p \leq 0,05$). Отмечено достоверное увеличение численности *Bacteroides* spp., *Prevotella* spp. и *Bifidobacterium* spp. в кишечнике, а также полная элиминация *E. coli* из слепой кишки опытных групп. Полученные данные подтверждают перспективность использования *R. mucilaginosa* в кормлении бройлеров, но требуют более расширенного изучения.

Ключевые слова: бройлер, *Rhodotorula mucilaginosa*, микробный состав, кишечник, живая масса, продуктивность

Для цитирования: Березова К.А., Никанова Д.А., Артемьева О.А., Колодина Е.Н., Довыденкова М.В. Влияние дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* на микробиоценоз и продуктивные качества цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 72–80. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-72-80>

Influence of *Rhodotorula mucilaginosa* yeast on the microbiocenosis and productive qualities of broiler chickens

ABSTRACT

Relevance. Yeast and its derivatives have a comprehensive positive effect on poultry, but the effect of the carotene-synthesizing yeast *Rhodotorula mucilaginosa* on the microbiome and performance of broiler chickens has been poorly studied. The aim of this study was to investigate the effect of a microbial supplement based on the carotene-synthesizing yeast *R. mucilaginosa* before and after freezing on the microbiome and performance of broilers.

Methods. The study was conducted on broiler chickens of the Smena 9 cross ($n = 78$). Three groups of 26 birds each were formed using the analog group principle. Battery cage technology was used for rearing. Birds in the control group received the basic diet; those in the first experimental group additionally received native yeast *R. mucilaginosa* (3 g/bird/day, assuming that the carotenoid content was 312 $\mu\text{g/g}$ biomass); and those in the second experimental group received yeast after freezing and thawing at the same dose. Zootechnical parameters and the microbial composition of the rectum and cecum contents were studied using real-time PCR at 25 and 45 days.

Results. The introduction of *R. mucilaginosa*, especially after freezing, increased live weight by 4.52%, average daily gain by 9.9%, leg weight by 11.91% ($p \leq 0.001$), and breast weight by 2.72% ($p \leq 0.05$). A significant increase in the number of *Bacteroides* spp., *Prevotella* spp., and *Bifidobacterium* spp. in the intestines was observed, as well as the complete elimination of *E. coli* from the cecum of the experimental groups. These data confirm the potential of using *R. mucilaginosa* in broiler feeding, but require further study.

Key words: broiler, *Rhodotorula mucilaginosa*, microbial composition, intestine, live weight, productivity

For citation: Berezova K.A., Nikanova D.A., Artemyeva O.A., Kolodina E.N., Dovydenkova M.V. Influence of *Rhodotorula mucilaginosa* yeast on the microbiocenosis and productive qualities of broiler chickens. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 72–80 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-72-80>

Введение/Introduction

Возможность достичь успешных результатов на этапе урегулирования физиологических процессов в организме птицы повышается при введении в рацион биологически активных добавок [1].

Важными при выращивании бройлеров являются ростовой и финишный периоды [2]. В эти периоды микробиота желудочно-кишечного тракта выступает в роли модулятора гомеостаза организма-хозяина. Посредством регуляции иммунных реакций и создания барьера против патогенных бактерий микробиом оказывает прямое влияние на эффективность питания, процессы детоксикации и, как следствие, на ростовые показатели и здоровье бройлеров [3]. Сообщество микроорганизмов, населяющих желудочно-кишечный тракт, представляет собой высокоорганизованную биологическую систему, которая оказывает влияние на физиологию организма, регулируя ключевые аспекты его роста, развития и общего состояния здоровья. Несколько исследований показали, что баланс полезных микроорганизмов в желудочно-кишечном тракте домашней птицы способствует увеличению массы тела и улучшению коэффициента конверсии корма, а также предотвращает распространенные заболевания домашней птицы [4, 5]. Известно, что слизистая оболочка кишечника является первой линией защиты от негативных факторов окружающей среды и ее повреждение при возникновении воспалительных реакций негативно сказывается на пищеварении и усвоении питательных веществ. Физиологическая незрелость желудочно-кишечного тракта и несформированность его микробного сообщества у молодняка повышают восприимчивость к патогенным инфекциям. В связи с этим кормовой рацион выступает ключевым фактором, определяющим становление и поддержание сбалансированной кишечной микробиоты [6, 7].

Дрожжи и продукты их переработки оказывают комплексное благотворное влияние на кишечник животных. Их механизм действия включает стимуляцию развития кишечной ткани, модуляцию микробиома, конкурентное вытеснение патогенов, адсорбцию токсинов, а также улучшение процессов пищеварения и усвоения питательных веществ. Благодаря этим уникальным свойствам, такие добавки способствуют укреплению здоровья животных и повышению их продуктивности [8].

Бета-глюканы, входящие в состав клеточной стенки дрожжей способны увеличивать число молочнокислых бактерий, которые способны улучшать состояние желудочно-кишечного тракта и снижать риск заражения патогенными микроорганизмами. Метаболиты (бета-глюканы, маннозомоносахариды и др.) дрожжей демонстрируют эффективность в снижении колонизации желудочно-кишечного тракта птиц сальмонеллой. Полученные Itani K. et al. данные указывают на то, что дрожжевая клеточная стенка обладает потенциалом для профилактики кишечных инфекций и укрепления здоровья бройлеров [9].

Имеются довольно обширные исследования пробиотических свойств дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, но ограниченное количество исследований о влиянии штаммов дрожжей, таких как *Pichia guilliermondii* (Citristim) [10, 11], *Candida pintolopesii* [12] и *Rhodotorula mucilaginosa* [13].

Rhodotorula mucilaginosa является сапрофитным микроорганизмом, который можно встретить в различных средах обитания (почва, вода, организмы животных и растений). Эти дрожжи представляют большой интерес для биотехнологического процесса, поскольку являются продуцентами ценных метаболитов, к числу которых относятся каротиноиды, преимущественно β -каротин, торулен и торулархордин. [14, 15].

Корма для животных, как правило, содержат недостаточное количество каротиноидов, что требует их добавления в основной рацион. Поскольку животные не синтезируют эти соединения самостоятельно, они могут усваивать их только извне. Каротиноиды выполняют в организме важные защитные функции: действуют как антиоксиданты, проявляют антиканцерогенную активность, а также обладают иммуномодулирующими и онкопротекторными свойствами. Благодаря этому они способствуют нормализации репродуктивных процессов, роста и развития сельскохозяйственных животных и птицы. Одним из перспективных источников этих пигментов являются дрожжи *R. mucilaginosa* [16].

Научных работ, посвященных влиянию *R. mucilaginosa* на организм цыплят-бройлеров, довольно мало, однако недавние исследования показывают, что эти дрожжи могут способствовать росту, укреплению здоровья и повышению продуктивности кур-несушек, что, в первую очередь, зависит от состояния желудочно-кишечного тракта [17, 18].

Цель исследования — изучить влияние микробной добавки на основе каротиносинтезирующих дрожжей *R. mucilaginosa* до и после процесса замораживания на микробиоценоз и показатели продуктивности бройлеров.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Научно-хозяйственный опыт на цыплятах-бройлерах был проведен в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста в период с апреля по июнь 2025 года в течение 45 дней. Используемые в исследовании дрожжи были выделены сотрудниками лаборатории микробиологии ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста из желудочно-кишечного тракта сельскохозяйственных животных [19].

Условия содержания в клеточных батареях и кормления птицы мясного кросса «Смена 9» соответствовали требованиям, изложенным в руководстве по работе с птицей нового отечественного конкурентоспособного кросса мясных кур, созданного Федеральным научным центром «Всероссийский научно-исследовательский и технологический

институт птицеводства» Российской академии наук и «Селекционно-генетическим центром «Смена»¹.

Кормление цыплят-бройлеров осуществлялось в три этапа, комбикормами «Старт» X-PRO (0–10 дн.), «Рост» X-PRO (11–29 дн.), «Финиш» X-PRO (30–50 дн.) (Purina, Россия). Стартовый период был проведен с 0–10 сут. без дополнительного введения дрожжей *R. mucilaginosa*. Введение в рацион дрожжей *R. mucilaginosa* в сухом виде осуществляли в ростовой (с 11 сут. возраста) и финишный (с 26 сут. возраста) периоды, смешивая с комбикормом по 3 г/гол./сут. (из расчета, что содержание каротиноидов составляло 312 мкг/г биомассы).

Дозу дрожжей *R. mucilaginosa* (3 г/гол./сут.) устанавливали из расчета покрытия физиологической потребности птицы в каротиноидах, эквивалентной 10 000 МЕ витамина А на 1 кг корма². Руководствуясь коэффициентом пересчета (1 МЕ витамина А соответствует 0,3 мкг β-каротина), определили минимальный норматив содержания провитаминов в корме — 3 мкг/г. Для удовлетворения суточной потребности (450–600 мкг каротиноидов) использовали добавку, обеспечивающую поступление 936 мкг/гол./сут. Превышение минимальной потребности является намеренным и согласуется с литературными данными о возможности накопления интактных каротиноидов в тканях птицы без угнетения метаболизма витамина А [20].

По принципу групп-аналогов были сформированы 3 группы по 26 голов в каждой (контрольная и две опытных). Контрольная группа получала основной рацион, 1 опытная — к основному рациону, ежедневно, получала дрожжи *R. mucilaginosa* (без заморозки), 2 опытная — к основному рациону, ежедневно, получала в рацион дрожжи *R. mucilaginosa* (после заморозки).

Клетки дрожжей *R. mucilaginosa* для 2 опытной группы подвергали замораживанию при температуре –20 °С (медленное замораживание) в течение 72 часов в герметичных контейнерах. Размораживание проводили при комнатной температуре (+22 ± 2 °С) в течение 4 часов до полного оттаивания. Выбор данных параметров обусловлен созданием осмотического шока для частичного разрушения клеточной стенки и высвобождения внутриклеточных каротиноидов³.

Подробная схема эксперимента приведена в таблице 1. Общая продолжительность эксперимента составила 45 дней.

Таблица 1. Схема проведения эксперимента

Table 1. Experimental design

Группа	Голов в группе	Характеристика кормления
Ростовой период — 11–25 сут		
контрольная	26	Комбикорм стандартный (КК) Purina (Рост)
1 опытная	26	КК с дополнительным включением дрожжей <i>R. mucilaginosa</i> (без замораживания) в дозе 3 г/гол./сут.
2 опытная	26	КК с дополнительным включением дрожжей <i>R. mucilaginosa</i> (после заморозки) в дозе 3 г/гол./сут.
Финишный период — 26–45 сут		
контрольная	21*	Комбикорм стандартный Purina (Финиш)
1 опытная	21*	КК с дополнительным включением дрожжей <i>R. mucilaginosa</i> (без замораживания) в дозе 3 г/гол./сут.
2 опытная	21*	КК с дополнительным включением дрожжей <i>R. mucilaginosa</i> (после заморозки) в дозе 3 г/гол./сут.

Примечание: КК — комбикорм стандартный; * — на 25 сутки (по окончании ростового периода) проведен контрольный убой по 5 голов из каждой группы для отбора проб содержимого кишечника, следовательно, в финишный период в контрольной и опытной группах количество голов сократилось до 21.

Экспериментальные исследования были одобрены этической комиссией ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им Л.К. Эрнста. Протокол №5 от 12.05.2023 г. и выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями принципов надлежащей лабораторной практики⁴. При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Взвешивание птицы проводили на 11, 25 и 45 сутки на электронных весах «МЕРА ВС 40» (Китай, СИ поверены). Процесс убоя (декапитация) и разделки цыплят-бройлеров осуществлялся в конце ростового (5 голов) и финишного (5 голов) периодов в соответствии с Приказом Минсельхоза России от 28.04.2022 № 269⁵ и техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС 021/2011)⁶.

Отбор образцов содержимого слепой и прямой кишки для определения микробиоты желудочно-кишечного тракта проводили на 25 и 45 сутки. Микробиологический анализ просветной (люминальной) микробиоты осуществлялся с помощью набора реагентов для исследования микробиоты кишечника методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) с флуоресцентной детекцией в реальном времени «КОЛОНОФЛОР-16 (премиум)» (регистрационное удостоверение № РЗН 2019/9479, ООО «Альфалаб», Россия). Праймеры, входящие в

¹ Ефимов Д.Н. Руководство по работе с птицей мясного кросса "Смена 9" с аутосексной материнской родительской формой : (племенная работа; инкубация яиц; технология выращивания, содержания; кормление; здоровье и биобезопасность). Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства РАН. Сергиев Посад. 2021; 95. EDN AJBTFN

² Avigen. ROSS 308 Parent Stock Nutrition Specifications [Internet]. 2021 [cited 2026 Apr 29]. Available from: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_PS/Ross308-EuropeanParentStock-NutritionSpecifications-2021-EN.pdf

³ Lopes N.A., Remedi R.D., Dos Santos S.C., Burkert C.A.V., de Medeiros Burkert J.F. Different cell disruption methods for obtaining carotenoids by *Sporidiobolus pararoseus* and *Rhodotorula mucilaginosa*. Food Sci Biotechnol. 2017; 26(3): 759–766. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0098-y>

⁴ ГОСТ 33044-2014. Принципы надлежащей лабораторной практики : межгосударственный стандарт.

⁵ Приказ Минсельхоза России от 28.04.2022 № 269 «Об утверждении Ветеринарных правил убоя животных и Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и продуктов убоя (промысла) животных, предназначенных для переработки и (или) реализации» (Зарегистрировано в Минюсте России 25.05.2022 № 68589).

⁶ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» : принят Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 (в ред. от 14.07.2021) // Официальный сайт Евразийского экономического союза. — URL: https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01428369/cncd_21122011_880

состав набора, специфичны для гипервариабельных регионов V3–V4 гена 16S рНК, что обеспечивает универсальный характер амплификации бактериальной ДНК широкого круга таксономических групп и допускает возможность применения на биологическом материале, отличном от образцов, предусмотренных инструкцией производителя. Нуклеотидные последовательности праймеров являются коммерческой тайной производителя и в открытом доступе не раскрываются. Все этапы ПЦР-амплификации выполняли строго по прилагаемой к набору рабочей инструкции (номер серии набора 36, дата изготовления 20.05.2025). Общий объем реакционной смеси — 35 мкл, включая объем пробы ДНК и контрольных образцов — 5 мкл. Режим амплификации осуществлялся с использованием системы Lergen-96 (Beijing Lepu Medical Technology CO., Ltd, Китай). Начальная денатурация 94 °C — 15 мин; затем 5 циклов: 94 °C в течение 5 сек, 58 °C в течение 6 сек, 72 °C в течение 10 сек; заключительный этап состоял из 40 циклов: 94 °C в течение 5 сек, 58 °C в течение 15 сек (регистрация флуоресценции по каналам FAM и HEX), 72 °C в течение 10 сек. Хранение осуществлялось при 10 °C. Обработку первичных данных ПЦР выполняли с использованием файла для количественной обработки результатов, входящего в состав набора. Расчет концентрации бактериальных популяций проводили методом абсолютной количественной ПЦР по стандартной калибровочной кривой, построенной производителем отдельно для каждого определяемого показателя. Результаты для каждой группы микроорганизмов выражали в геном-эквивалентах (ГЭ) на один грамм образца (ГЭ/г). Значения пороговых циклов (Ct), зарегистрированные для исследуемых образцов, автоматически пересчитывались встроенным программным обеспечением в количественные показатели (ГЭ/г) с учетом коэффициента пересчета ДНК-стандартов, входящих в комплект реагентов. Это позволило представить конечные результаты исследования в абсолютных величинах ($\log_{10}$ ГЭ/г), пригодных для статистического сравнения и содержательной интерпретации.

Полученные в опыте материалы обработаны биометрически с использованием метода дисперсионного анализа (ANOVA), посредством программы STATISTICA, version 13, StatSoft, Inc., 2011 (www.statsoft.com). При этом вычислены следующие величины: среднеарифметическая (M), среднеквадратическая ошибка ($\pm m$) и уровень значимости (p). Результаты исследований считали высокодоверенными при $***p \leq 0,001$ и достоверными при $**p \leq 0,01$; $*p \leq 0,05$. В связи с проведением множественных сравнений показателей была выполнена корректировка уровня значимости с использованием поправки Бонферрони.

Таблица 2. Продуктивность цыплят-бройлеров кросса «Смена 9», ($M \pm m$)

Table 2. Productive qualities of broiler chickens of the Smena 9 cross, ($M \pm m$)

Возраст, дней	Группа		
	Контроль	1 опытная	2 опытная
Живая масса, г			
11 сут. (n = 26)	215,69 $\pm$ 2,74	215,53 $\pm$ 2,85	213,04 $\pm$ 2,94
25 сут. (n = 26)	1035,00 $\pm$ 15,17	1040,00 $\pm$ 9,08	1077,00 $\pm$ 13,29
45 сут. (n = 21)	2832,00 $\pm$ 90,70	2864,00 $\pm$ 75,55	2960,00 $\pm$ 52,87
Среднесуточный прирост (СП), г			
11–25 сут.	33,27 $\pm$ 1,19	34,00 $\pm$ 0,72	34,87 $\pm$ 1,03
26–45 сут.	89,85 $\pm$ 5,22	91,20 $\pm$ 3,48	94,15 $\pm$ 2,05
11–45 сут.	58,87 $\pm$ 2,33	59,85 $\pm$ 1,94	64,69 $\pm$ 1,39
Сохранность, %	100	100	100

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Динамика изменений живой массы за период проведения научно-хозяйственного опыта представлен в таблице 2.

Полученные в ходе работы данные показали, что добавление дрожжей *R. mucilaginosa* в рацион цыплят-бройлеров оказало положительное влияние на основные показатели продуктивности в течение 45-суточного периода выращивания. К 25-суточному возрасту живая масса цыплят 2-й опытной группы (получавшей дрожжи после заморозки) превышала живую массу цыплят в контрольной группе на 4,06%. Масса птицы 1-й опытной группы была на уровне контроля. К концу опыта (45 суток) живая масса цыплят 2-й опытной группы была выше, чем в контрольной и 1-ой опытной группах на 4,52% и 3,36% соответственно. Среднесуточный прирост (СП) за период выращивания (11–45 сут.) был наивысшим во 2-й опытной группе, превосходя контроль на 9,9%.

На 45-е сутки эксперимента был проведен контрольный убой и оценка мясных качеств цыплят-бройлеров (таблица 3).

Таблица 3. Мясные качества цыплят-бройлеров, 45 сут, n = 5, ($M \pm m$)

Table 3. Meat qualities of broiler chickens, 45 days, n = 5, ($M \pm m$)

Показатель	Группа		
	Контроль	1 опытная	2 опытная
Предубойная масса, г	2832,00 $\pm$ 90,70	2864,00 $\pm$ 75,55	2960,00 $\pm$ 52,87
Масса полупотрошенной тушки, г	2475,00 $\pm$ 76,20	2560,00 $\pm$ 68,60***	2582,00 $\pm$ 69,90***
Убойный выход полупотрошенной тушки, %	87,55 $\pm$ 1,27	89,42 $\pm$ 1,27	87,23 $\pm$ 1,76
Масса потрошенной тушки, г	2244,00 $\pm$ 74,70	2309,00 $\pm$ 58,00	2291,00 $\pm$ 52,00
Убойный выход потрошенной тушки, %	79,23 $\pm$ 0,55	80,68 $\pm$ 1,33	77,43 $\pm$ 1,51
Масса частей тушки			
Масса окорочков, г	306,14 $\pm$ 3,73	338,72 $\pm$ 11,60***	342,60 $\pm$ 15,50***
Масса грудки, г	672,58 $\pm$ 15,00	680,62 $\pm$ 11,80	690,88 $\pm$ 29,20*
Масса крыльев, г	220,00 $\pm$ 5,77	225,14 $\pm$ 9,27	224,92 $\pm$ 7,96

Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ — по сравнению с показателями животных контрольной группы. После поправки на множественные сравнения ни один показатель не показал статистически значимого отличия от контроля. Звездочки в таблице отражают номинальные значения «р» без коррекции.

Результаты показывают влияние *R. mucilaginosa* как на массу тушек, так и на выход и распределение мышечной ткани. Предубойная масса во 2-й опытной группе была выше контроля на 128 г. Масса потрошеной тушки была выше в обеих (1 и 2) опытных группах на 2,90% ($p \leq 0,01$) и 2,09% ($p \leq 0,01$) по сравнению с контрольной группой. При этом, убойный выход полупотрошеной тушки был выше в 1 опытной группе на 1,92 % по сравнению с контролем.

При разделке наблюдались достоверные различия в распределении массы между частями тушек экспериментальных групп. В 1 и 2-й опытных группах масса окорочков была выше на 10,64% и 11,91% ($p \leq 0,001$) по сравнению с контролем. Масса грудки в контрольной и 1-й опытной группах была статистически однородной, без достоверных различий. Во 2-й опытной группе этот показатель был достоверно выше на 2,72% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Масса крыльев была выше в опытных группах на 2,24% (2 опытная) и 2,34% (1 опытная) без статистической значимости.

Введение *R. mucilaginosa* в корм оказало влияние на массу внутренних органов бройлеров (таблица 4). Масса печени у цыплят 1-й опытной группы была ниже, чем в контроле на 10,19% ($p \leq 0,05$), а во 2-й группе на 6,48%. В то же время, у животных опытных групп наблюдалась большая масса мышечного желудка. Так, во 2-й опытной группе его вес на 13,8 г. был выше, чем в контроле, что может быть связано с адаптационной гипертрофией мускулатуры желудка в ответ на повышенную механическую нагрузку, обусловленную наличием в корме трудно перевариваемых частиц клеточных стенок дрожжей *R. mucilaginosa* (β -глюканов, маннопротеинов). Вес массы сердца в 1-й и 2-й опытных группах был выше на 13,6% и 20,8% соответственно, чем в контроле. Снижение массы печени при одновременном увеличении массы сердца и желудка может указывать на избирательное воздействие добавки на гепатобилиарную систему. Что касается возможной токсической нагрузки, то проведенные нами ранее исследования на лабораторных мышах показали отсутствие острой токсичности живого штамма *R. mucilaginosa* [22]. Отсутствие токсического эффекта подтверждается также данными литературы о том, что изоляты *Rhodotorula* spp., выделенные из биологических объектов, не обладают патогенными свойствами [23]. Таким образом, зарегистрированные изменения массы внутренних органов, вероятно, связаны не с токсическим действием добавки, а с метаболической перестройкой организма в ответ на поступление биологически активных веществ каротиноидной природы, что требует дополнительных исследований ткани печени и показателей крови для уточнения действия добавки. Масса почек была ниже в опытных группах, особенно во 2-й опытной группе (на 15,76%). Показатели массы селезенки достоверно не различались.

Таблица 4. Масса внутренних органов цыплят-бройлеров в возрасте 45 сут., $n = 5$, ($M \pm m$).

Table 4. Weight of internal organs of broiler chickens at the age of 45 days, $n = 5$, ($M \pm m$).

Масса внутренних органов, г	Группа		
	Контроль	1 опытная	2 опытная
Сердце	12,5 $\pm$ 0,40	14,2 $\pm$ 0,25	15,1 $\pm$ 1,21
Печень	87,32 $\pm$ 2,85	78,42 $\pm$ 3,29*	81,66 $\pm$ 5,43
Желудок	40,3 $\pm$ 3,72	43,5 $\pm$ 1,01	54,1 $\pm$ 1,33
Селезенка	4,68 $\pm$ 0,43	4,92 $\pm$ 0,77	4,26 $\pm$ 0,40
Почки	23,60 $\pm$ 1,06	22,36 $\pm$ 1,04	19,88 $\pm$ 1,06

Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ — по сравнению с показателями животных контрольной группы. После поправки на множественные сравнения ни один показатель не показал статистически значимого отличия от контроля. Звездочки в таблице отражают номинальные значения «р» без коррекции.

Полученные результаты микробиологического анализа содержимого желудочно-кишечного тракта показали неоднородность распределения родов и видов по отделам кишечника и в зависимости от возраста птицы. Содержание *Bacteroidetes* в слепой кишке свидетельствуют о том, что присутствующая там микробиота играет важную роль в переработке азота с использованием мочевой кислоты, в производстве незаменимых аминокислот и в переваривании некрахмалистых полисахаридов, которые стимулируют выработку короткоцепочечных жирных кислот [24]. Не менее важную роль для пищеварения, метаболизма и целостности кишечного барьера играют микроорганизмы рода *Prevotella* spp.

На 25 сутки в кишечнике цыплят-бройлеров доминирующими группами микроорганизмов были *Bacteroides* spp. и *Prevotella* spp. (таблица 3). Во второй опытной группе наблюдалась достоверно более низкая численность бактерий рода *Bacteroides* spp. в слепой и прямой кишке на 1,14 $\log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,001$) и 0,29 $\log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,01$) соответственно. Наблюдалась положительная тенденция к достоверному увеличению числа *Bifidobacterium* spp. в содержимом прямой кишки 1 и 2 опытных групп на 0,89 $\log_{10}$ ГЭ/г и 0,66 $\log_{10}$ ГЭ/г соответственно.

В сравнении с контрольной группой, в содержимом прямой кишки 1 и 2 опытных групп были детектированы бактерии родов *Enterobacter* spp. и *Enterococcus* spp. Это связано с модуляцией микробиоты, изменением конкурентных взаимоотношений в микробиоценозе и улучшением кишечного здоровья, что согласуется с исследованиями, в которых добавление дрожжевых клеточных стенок в рацион бройлеров достоверно увеличивало относительное содержание *Enterococcus* spp. [25].

К 45-му дню во всех группах произошло закономерное увеличение численности облигатной микробиоты (таблица 6). Наиболее выраженный и последовательный положительный эффект наблюдался в отношении ключевых групп аутохтонных микроорганизмов (*Bacteroides* spp. и *Prevotella* spp.). В обоих отделах кишечника у всех опытных групп отмечено достоверное

Таблица 5. Микробный состав содержимого кишечника бройлеров в возрасте 25 дней ($\log_{10}$, ГЭ/г) ($M \pm m$, $n = 5$)

Table 5. Microbial composition of the intestinal contents of broilers at the age of 25 days ($\log_{10}$, GE/g) ($M \pm m$, $n = 5$)

Показатель	Группа			Анали- тическая чувстви- тельность, копий/г
	Контрольная	1 опытная	2 опытная	
Прямая кишка				
<i>Lactobacillus</i> spp.	5,50 ± 0,07	5,13 ± 0,05	5,26 ± 0,22	10 ⁵
<i>Bifidobacterium</i> spp.	6,32 ± 0,14	7,21 ± 0,38**	6,98 ± 0,09***	10 ⁵
<i>Escherichia coli</i>	5,61 ± 0,05	5,09 ± 0,30	5,00 ± 0,28	10 ⁵
<i>Bacteroides</i> spp.	10,17 ± 0,07	10,30 ± 0,11***	9,03 ± 0,07***	10 ⁵
<i>Enterococcus</i> spp.	менее 10 ⁵	5,35 ± 0,49	5,46 ± 0,25	10 ⁵
<i>Enterobacter</i> spp.	менее 10 ⁵	5,21 ± 0,11	5,10 ± 0,22	10 ⁵
<i>Prevotella</i> spp.	10,17 ± 0,14	10,01 ± 0,17***	9,97 ± 0,36***	10 ⁵
Слепая кишка				
<i>Lactobacillus</i> spp.	5,55 ± 0,19	5,49 ± 0,19	5,61 ± 0,07	10 ⁵
<i>Bifidobacterium</i> spp.	6,81 ± 0,21	6,79 ± 0,25*	7,07 ± 0,04	10 ⁵
<i>Escherichia coli</i>	6,22 ± 0,41	5,28 ± 0,21	5,63 ± 0,32	10 ⁵
<i>Bacteroides</i> spp.	10,32 ± 0,11	10,25 ± 0,14***	10,03 ± 0,07**	10 ⁵
<i>Prevotella</i> spp.	9,57 ± 0,20	9,58 ± 0,03***	10,07 ± 0,07**	10 ⁵

Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ — по сравнению с показателями животных контрольной группы. ГЭ/г — геномный эквивалент на г. После поправки на множественные сравнения статистически значимые различия с контролем сохраняются в прямой кишке — для *Bifidobacterium* spp. (1 ($p_{adj} = 0,030$) и 2 ($p_{adj} = 0,015$) опытные группы), *Bacteroides* spp. (1 ($p_{adj} = 0,015$) и 2 ($p_{adj} = 0,015$) опытные группы), *Prevotella* spp. (1 ($p_{adj} = 0,015$) и 2 ($p_{adj} = 0,015$) опытные группы), в слепой кишке — для *Bacteroides* spp. (1 ($p_{adj} = 0,015$) и 2 ($p_{adj} = 0,030$) опытные группы) и *Prevotella* spp. (1 ($p_{adj} = 0,015$) и 2 ($p_{adj} = 0,030$) опытные группы).

Таблица 6. Микробный состав содержимого кишечника бройлеров в возрасте 45 дней ($\log_{10}$, ГЭ/г) ($M \pm m$, $n = 5$)

Table 6. Microbial composition of the intestinal contents of broilers at the age of 45 days ($\log_{10}$, GE/g) ($M \pm m$, $n = 5$)

Показатель	Группа			Анали- тическая чувстви- тельность, копий/г
	Контрольная	1 опытная	2 опытная	
Прямая кишка				
<i>Lactobacillus</i> spp.	8,03 ± 0,50	7,66 ± 0,40	8,34 ± 0,15	10 ⁵
<i>Bifidobacterium</i> spp.	9,10 ± 0,33	8,42 ± 0,38	9,13 ± 0,06	10 ⁵
<i>Escherichia coli</i>	5,44 ± 0,22	5,06 ± 0,05**	5,22 ± 0,17**	10 ⁵
<i>Bacteroides</i> spp.	10,46 ± 0,17	11,58 ± 0,14**	11,98 ± 0,06***	10 ⁵
<i>Enterococcus</i> spp.	5,04 ± 0,06	5,68 ± 0,17**	5,85 ± 0,09**	10 ⁵
<i>Citrobacter</i> spp.	не обн.	5,15 ± 0,14**	5,066 ± 0,06**	10 ⁵
<i>Prevotella</i> spp.	9,73 ± 0,07	10,01 ± 0,03*	10,14 ± 0,04**	10 ⁵
Слепая кишка				
<i>Lactobacillus</i> spp.	6,58 ± 0,37	6,41 ± 0,49	6,87 ± 0,58	10 ⁵
<i>Bifidobacterium</i> spp.	7,43 ± 0,26	7,29 ± 0,24	8,39 ± 0,18**	10 ⁵
<i>Escherichia coli</i>	5,09 ± 0,36	менее 5,00	менее 5,00	10 ⁵
<i>Bacteroides</i> spp.	10,62 ± 0,21	11,25 ± 0,15***	11,51 ± 0,20***	10 ⁵
<i>Enterococcus</i> spp.	5,13 ± 0,32	5,49 ± 0,11*	5,35 ± 0,17*	10 ⁵
<i>Citrobacter</i> spp.	5,03 ± 0,07	5,31 ± 0,11*	5,28 ± 0,14*	10 ⁵
<i>Prevotella</i> spp.	9,61 ± 0,08	10,05 ± 0,04***	10,31 ± 0,11***	10 ⁵

Примечание: * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$ — по сравнению с показателями животных контрольной группы. ГЭ/г — геномный эквивалент на г. После поправки на множественные сравнения статистически значимые различия с контролем сохраняются в прямой кишке — для *Bacteroides* spp. (2 опытная группы (2 опытные группы ($p_{adj} = 0,018$)), в слепой кишке — для *Bacteroides* spp. (1 ($p_{adj} = 0,018$) и 2 ($p_{adj} = 0,018$) опытные группы) и *Prevotella* spp. (1 ($p_{adj} = 0,018$) и 2 ($p_{adj} = 0,018$) опытные группы).

и существенное увеличение численности *Bacteroides* spp. Так, в прямой кишке второй опытной группы рост количества *Bacteroides* spp. было

достоверно ($p \leq 0,001$) выше, чем в контрольной группе на 1,52 $\log_{10}$ ГЭ/г. Численность *Prevotella* spp., в содержимом прямой кишки бройлеров второй опытной группы была выше на 0,41 $\log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,01$), а в слепой на 0,70 $\log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,001$). Кроме того, во второй опытной группе наблюдался достоверный рост *Bifidobacterium* spp. в слепой кишке, что было выше, чем в контрольной на 0,96 $\log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,01$). Согласно литературным данным, добавление маннанолигосахаридов, содержащихся в клеточной стенке дрожжей, препятствует прикреплению, а также способствует удалению прикреплённой *E. coli* со слизистой оболочки кишечника [26]. В наших исследованиях отмечено, что численность *E. coli* в слепой кишке опытных групп снизилась до уровня ниже предела детекции используемого метода (менее 10⁵ ГЭ/г).

Во всех группах на протяжении эксперимента отсутствовали детектируемые уровни дрожжеподобных грибов рода *Candida*, а также патогенных и условно-патогенных бактерий — *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp. и *Streptococcus* spp., что свидетельствует о благополучном эпизоотическом состоянии поголовья и отсутствии негативного влияния *R. mucilaginosa* на колонизационную резистентность кишечника к патогенам. В слепой кишке, помимо вышеуказанных таксонов, также не были детектированы энтеробактерии рода *Citrobacter* и *Enterobacter* spp. в 25-суточном возрасте, однако к 45-му дню отмечалась колонизация *Citrobacter* spp. во всех группах, что, вероятно, связано с возрастной динамикой становления микробиоценоза.

Анализ представленных данных свидетельствует, что обе формы добавки способствуют достоверному увеличению ключевых симбионтов — *Bacteroides* spp., *Prevotella* spp. и *Bifidobacterium* spp. Однако, во второй опытной группе (*R. mucilaginosa* после заморозки) показатели численности полезной микробиоты в слепой кишке (*Bifidobacterium* spp., *Bacteroides* spp., *Prevotella* spp.) были выше, чем в первой опытной группе (нативная форма).

Мукозо-ассоциированная микробиота, которая обеспечивает более

прямой контакт с эпителием и иммунными клетками, может демонстрировать иную динамику. Это представляет собой предмет дальнейших исследований.

Выводы/Conclusions

Проведенные исследования показали, что включение в рацион цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» каротиносинтезирующих дрожжей *Rhodotorula mucilaginosa* в дозе 3 г/гол./сут. оказывает положительное влияние на продуктивные показатели и микробиоценоз кишечника, при этом эффективность добавки зависит от формы ее применения. Установлено, что введение дрожжей, особенно после замораживания, способствует увеличению живой массы птицы к 45-суточному возрасту на 4,52% относительно контроля, повышению среднесуточного прироста за весь период выращивания на 9,9% и улучшению сохранности поголовья до 100%.

Анализ мясных качеств показал, что использование *R. mucilaginosa* обеспечивает достоверное увеличение массы полупотрошенной тушки на 2,90% и 2,09% ($p \leq 0,01$) в первой и второй опытных группах соответственно, а также массы

окорочков — на 10,64% и 11,91% ($p \leq 0,001$) и массы грудки во второй опытной группе — на 2,72% ($p \leq 0,05$). Изучение микробиоценоза кишечника продемонстрировало выраженное модулирующее действие дрожжей *R. mucilaginosa* на состав микробиоты. К 45-м суткам в обеих опытных группах отмечено достоверное увеличение численности ключевых симбионтных микроорганизмов: *Bacteroides* spp. в прямой кишке на $1,12\text{--}1,52 \log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,01\text{--}0,001$), *Prevotella* spp. на $0,28\text{--}0,41 \log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,05\text{--}0,01$), а также *Bifidobacterium* spp. в слепой кишке второй опытной группы на $0,96 \log_{10}$ ГЭ/г ($p \leq 0,01$). Наиболее выраженный положительный эффект по всем изучаемым показателям (живая масса, мясные качества, численность полезной микробиоты в слепой кишке) наблюдался во второй опытной группе, получавшей дрожжи после заморозки, что может указывать на повышение биодоступности компонентов дрожжевой клетки.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-16-00167 <https://rscf.ru/project/23-16-00167/>

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation No. 23-16-00167 <https://rscf.ru/project/23-16-00167/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колодина Е.Н. Влияние кормовой добавки на микробиоценоз и продуктивность птицы. *Птицеводство*. 2018; (5): 26–30. EDN UQXCLV
2. Хамитова В.З., Османян А.К., Малородов В.В. Эффективность выращивания бройлеров в зависимости от схем фазового кормления и использования суперпрестартерного рациона. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021; (4): 79–93. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-4-79-93>
3. Awad W.A. et al. Age-Related Differences in the Luminal and Mucosa-Associated Gut Microbiome of Broiler Chickens and Shifts Associated with *Campylobacter jejuni* Infection. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2016; 6: 154. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2016.00154>
4. Talebi A., Amirzadeh B., Mokhtari B., Gahri H. Effects of a multi-strain probiotic (PrimaLac) on performance and antibody responses to Newcastle disease virus and infectious bursal disease virus vaccination in broiler chickens. *Avian Pathology*. 2008; 37(5): 509–512. <https://doi.org/10.1080/03079450802356995>
5. Salianeh N., Shirzad M.R., Seifi S. Performance and antibody response of broiler chickens fed diets containing probiotic and prebiotic. *Journal of Applied Animal Research*. 2011; 39(1): 65–67. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.565222>
6. Lin J. et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* hydrolysate on growth performance, immunity function, and intestinal health in broilers. *Poultry Science*. 2023; 102(1): 102237. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102237>
7. Kim E. et al. Supplementation of live yeast culture modulates intestinal health, immune responses, and microbiota diversity in broiler chickens. *Journal of Animal Science*. 2022; 100(5): skac122. <https://doi.org/10.1093/jas/skac122>
8. Zhang Q., Liao L., Lyu S. *Rhodotorula mucilaginosa* A8, a potential helper strain in a vitamin C microbial fermentation process. *Journal of Basic Microbiology*. 2024; 64(7): e2400132. <https://doi.org/10.1002/jobm.202400132>
9. Itani K. et al. Effect of *Cyberlindnera jadinii* yeast on growth performance, nutrient digestibility, and gut health of broiler chickens from 1 to 34 d of age. *Poultry Science*. 2023; 102(12): 103127. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103127>

REFERENCES

1. Kolodina E.N. The Influence of a Feed Additive on the Gastrointestinal Microbiocoenosis and Productivity in Quails. *Pitisevodstvo*. 2018; (5): 26–30 (in Russian). EDN UQXCLV
2. Hamitova V.Z., Osmanyan A.K., Malorodov V.V. Efficiency of broiler growing depending on the phase feeding schemes and the use of a super-starter diet. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; (4): 79–93 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-4-79-93>
3. Awad W.A. et al. Age-Related Differences in the Luminal and Mucosa-Associated Gut Microbiome of Broiler Chickens and Shifts Associated with *Campylobacter jejuni* Infection. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2016; 6: 154. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2016.00154>
4. Talebi A., Amirzadeh B., Mokhtari B., Gahri H. Effects of a multi-strain probiotic (PrimaLac) on performance and antibody responses to Newcastle disease virus and infectious bursal disease virus vaccination in broiler chickens. *Avian Pathology*. 2008; 37(5): 509–512. <https://doi.org/10.1080/03079450802356995>
5. Salianeh N., Shirzad M.R., Seifi S. Performance and antibody response of broiler chickens fed diets containing probiotic and prebiotic. *Journal of Applied Animal Research*. 2011; 39(1): 65–67. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.565222>
6. Lin J. et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* hydrolysate on growth performance, immunity function, and intestinal health in broilers. *Poultry Science*. 2023; 102(1): 102237. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102237>
7. Kim E. et al. Supplementation of live yeast culture modulates intestinal health, immune responses, and microbiota diversity in broiler chickens. *Journal of Animal Science*. 2022; 100(5): skac122. <https://doi.org/10.1093/jas/skac122>
8. Zhang Q., Liao L., Lyu S. *Rhodotorula mucilaginosa* A8, a potential helper strain in a vitamin C microbial fermentation process. *Journal of Basic Microbiology*. 2024; 64(7): e2400132. <https://doi.org/10.1002/jobm.202400132>
9. Itani K. et al. Effect of *Cyberlindnera jadinii* yeast on growth performance, nutrient digestibility, and gut health of broiler chickens from 1 to 34 d of age. *Poultry Science*. 2023; 102(12): 103127. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103127>

10. Khurshid N., Naveed S., Raziq F., Khan M.T., Ullah A. Assessing the effect of a yeast product (*Pichia guilliermondii*) on growth performance, carcass traits, gut morphology, intestinal microbial computation, and immune response in broilers. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57(8): 409. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04629-8>
11. Shahna F., Revathi S., Mamduh S., Ramesh S. Yeasts and yeast-based products in poultry nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*. 2023; 32(2): 100345. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100345>
12. Adli D.N., Sholikin M.M., Sitaresmi P.I., Ani Nurgiatiningsih V.M., Crooijmans R.P.M.A. Dose-Dependent Effects of Probiotics on the Reproductive Performance, Egg Characteristics, and Seminal Traits of Broiler Breeders: A Model-Based Meta-Analysis. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2025; 109(5): 1101–1119. <https://doi.org/10.1111/jpn.14123>
13. Grigore D.-M., Mironeasa S., Ciurescu G., Ungureanu-luga M., Batarciuc A., Babeanu N.E. Carcass Yield and Meat Quality of Broiler Chicks Supplemented with Yeasts Bioproducts. *Applied Sciences*. 2023; 13(3): 1607. <https://doi.org/10.3390/app13031607>
14. Фисинин В.И. Состояние и вызовы будущего в развитии мирового и отечественного птицеводства. *Инновационное обеспечение яичного и мясного птицеводства России. Материалы XVIII Междунар одной конференции. Сергиев-Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства*. 2015; 9–25. EDN TZAYBF
15. Li Z., Li C., Cheng P., Yu G. *Rhodotorula mucilaginosa*—alternative sources of natural carotenoids, lipids, and enzymes for industrial use. *Heliyon*. 2022; 8(11): e11505. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11505>
16. Lee J.J. *et al.* Dietary Yeast Cell Wall Improves Growth Performance and Prevents of Diarrhea of Weaned Pigs by Enhancing Gut Health and Anti-Inflammatory Immune Responses. *Animals*. 2021; 11(8): 2269. <https://doi.org/10.3390/ani11082269>
17. Sun J., Li M., Tang Z., Zhang X., Chen J., Sun Z. Effects of *Rhodotorula mucilaginosa* fermentation product on the laying performance, egg quality, jejunal mucosal morphology and intestinal microbiota of hens. *Journal of Applied Microbiology*. 2020; 128(1): 54–64. <https://doi.org/10.1111/jam.14467>
18. Su X. *et al.* Single or Combined Supplementation of *Rhodotorula* Yeast Culture and *Bacillus subtilis* Enhances Intestinal Barrier Function in Yellow-Feathered Broilers. *Veterinary Sciences*. 2025; 12(6): 558. <https://doi.org/10.3390/vetsci12060558>
19. Никанова Д.А. и др. Сапрофитные дрожжи *Rhodotorula mucilaginosa*: молекулярная идентификация, морфобиохимические свойства и продукция каротиноидов. *Сельскохозяйственная биология*. 2025; 60(6): 1126–114. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2025.6.1126rus>
20. Miao Q. *et al.* Deposition and bioconversion law of β -carotene in laying hens after long-term supplementation under adequate vitamin A status in the diet. *Poult Sci*. 2023; 102(11): 103046. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103046>
21. Lopes N.A., Remedi R.D., Dos Santos Sá C., Burkert C.A.V., de Medeiros Burkert J.F. Different cell disruption methods for obtaining carotenoids by *Sporodibolus pararoseus* and *Rhodothorula mucilaginosa*. *Food Sci Biotechnol*. 2017; 26(3): 759–766. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0098-y>
22. Колодина Е.Н., Никанова Д.А., Довыденкова М.В., Артемьева О.А., Березова К.А., Солина А.Ю. Изучение острой токсичности штамма *Rhodotorula mucilaginosa* продуцента каротиноидов. *Ветеринария и кормление*. 2025; (6): 51–56. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-6-12>
23. Yeoh Y. *Rhodotorula*. Robinson R.K. Encyclopedia of Food Microbiology. Academic Press. 1999; 1900–1905. <https://doi.org/10.1006/rwfm.1999.1340>
24. Clavijo V., Vives Flórez M.J. The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poultry Science*. 2018; 97(3): 1006–1021. <https://doi.org/10.3382/ps/pex359>
25. Kyoung H. *et al.* Dietary yeast cell wall enhanced intestinal health of broiler chickens by modulating intestinal integrity, immune responses, and microbiota. *Poultry Science*. 2023; 102(6): 102660. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102660>
26. Roto S.M., Rubinelli P.M., Ricke S.C. An Introduction to the Avian Gut Microbiota and the Effects of Yeast-Based Prebiotic-Type Compounds as Potential Feed Additives. *Frontiers in Veterinary Science*. 2015; 2: 28. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00028>
10. Khurshid N., Naveed S., Raziq F., Khan M.T., Ullah A. Assessing the effect of a yeast product (*Pichia guilliermondii*) on growth performance, carcass traits, gut morphology, intestinal microbial computation, and immune response in broilers. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57(8): 409. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04629-8>
11. Shahna F., Revathi S., Mamduh S., Ramesh S. Yeasts and yeast-based products in poultry nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*. 2023; 32(2): 100345. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2023.100345>
12. Adli D.N., Sholikin M.M., Sitaresmi P.I., Ani Nurgiatiningsih V.M., Crooijmans R.P.M.A. Dose-Dependent Effects of Probiotics on the Reproductive Performance, Egg Characteristics, and Seminal Traits of Broiler Breeders: A Model-Based Meta-Analysis. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2025; 109(5): 1101–1119. <https://doi.org/10.1111/jpn.14123>
13. Grigore D.-M., Mironeasa S., Ciurescu G., Ungureanu-luga M., Batarciuc A., Babeanu N.E. Carcass Yield and Meat Quality of Broiler Chicks Supplemented with Yeasts Bioproducts. *Applied Sciences*. 2023; 13(3): 1607. <https://doi.org/10.3390/app13031607>
14. Fisinin V.I. State and future challenges in the development of world and Russian poultry farming. *Innovative support for egg and meat poultry farming in Russia. Proceedings of the XVIII International conference. Sergiev Posad: All-Russian Research and Technological Poultry Institute*. 2015; 9–25 (in Russian). EDN TZAYBF
15. Li Z., Li C., Cheng P., Yu G. *Rhodotorula mucilaginosa*—alternative sources of natural carotenoids, lipids, and enzymes for industrial use. *Heliyon*. 2022; 8(11): e11505. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11505>
16. Lee J.J. *et al.* Dietary Yeast Cell Wall Improves Growth Performance and Prevents of Diarrhea of Weaned Pigs by Enhancing Gut Health and Anti-Inflammatory Immune Responses. *Animals*. 2021; 11(8): 2269. <https://doi.org/10.3390/ani11082269>
17. Sun J., Li M., Tang Z., Zhang X., Chen J., Sun Z. Effects of *Rhodotorula mucilaginosa* fermentation product on the laying performance, egg quality, jejunal mucosal morphology and intestinal microbiota of hens. *Journal of Applied Microbiology*. 2020; 128(1): 54–64. <https://doi.org/10.1111/jam.14467>
18. Su X. *et al.* Single or Combined Supplementation of *Rhodotorula* Yeast Culture and *Bacillus subtilis* Enhances Intestinal Barrier Function in Yellow-Feathered Broilers. *Veterinary Sciences*. 2025; 12(6): 558. <https://doi.org/10.3390/vetsci12060558>
19. Nikanova D.A. *et al.* Saprophytic yeast *Rhodotorula mucilaginosa*: molecular identification, morphobiocchemical properties and carotenoid production. *Agricultural Biology*. 2025; 60(6): 1126–1141. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2025.6.1126eng>
20. Miao Q. *et al.* Deposition and bioconversion law of β -carotene in laying hens after long-term supplementation under adequate vitamin A status in the diet. *Poult Sci*. 2023; 102(11): 103046. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103046>
21. Lopes N.A., Remedi R.D., Dos Santos Sá C., Burkert C.A.V., de Medeiros Burkert J.F. Different cell disruption methods for obtaining carotenoids by *Sporodibolus pararoseus* and *Rhodothorula mucilaginosa*. *Food Sci Biotechnol*. 2017; 26(3): 759–766. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0098-y>
22. Kolodina E.N., Nikanova D.A., Dovydenkova M.V., Artemieva O.A., Berezova K.A., Solina A.Y. Study of the acute toxicity of the *Rhodotorula mucilaginosa* strain, a producer of carotenoids. *Veterinaria i kormlenie*. 2025; (6): 51–56 (in Russian). <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-6-12>
23. Yeoh Y. *Rhodotorula*. Robinson R.K. Encyclopedia of Food Microbiology. Academic Press. 1999; 1900–1905. <https://doi.org/10.1006/rwfm.1999.1340>
24. Clavijo V., Vives Flórez M.J. The gastrointestinal microbiome and its association with the control of pathogens in broiler chicken production: A review. *Poultry Science*. 2018; 97(3): 1006–1021. <https://doi.org/10.3382/ps/pex359>
25. Kyoung H. *et al.* Dietary yeast cell wall enhanced intestinal health of broiler chickens by modulating intestinal integrity, immune responses, and microbiota. *Poultry Science*. 2023; 102(6): 102660. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102660>
26. Roto S.M., Rubinelli P.M., Ricke S.C. An Introduction to the Avian Gut Microbiota and the Effects of Yeast-Based Prebiotic-Type Compounds as Potential Feed Additives. *Frontiers in Veterinary Science*. 2015; 2: 28. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00028>

ОБ АВТОРАХ:

Ксения Алексеевна Березова

младший научный сотрудник
voshaisreal@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0005-9556-1947>

Дарья Александровна Никанова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
dap2189@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5164-244X>

Ольга Анатольевна Артемьева

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
vijmikrob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7706-4182>

Евгения Николаевна Колодина

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
kolodin77@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4017-3390>

Мария Валентиновна Довыденкова

кандидат биологических наук, научный сотрудник
majra_2005@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3093-4117>

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
поселок Дубровицы, дом 60, Городской округ Подольск,
Московская область, 142132, Россия

ABOUT THE AUTHORS:

Ksenia Alekseevna Berezova

junior researcher
voshaisreal@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0005-9556-1947>

Daria Alexandrovna Nikanova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
dap2189@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5164-244X>

Olga Anatolyevna Artemieva

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
vijmikrob@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7706-4182>

Evgeniya Nikolaevna Kolodina

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
kolodin77@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4017-3390>

Maria Valentinovna Dovydenkova

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
majra_2005@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3093-4117>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal
Husbandry,
60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region,
142132 Russia

17 - 19 СЕНТЯБРЯ 2026

МВЦ «МинводыЭКСПО»
г. Минеральные Воды

PRO ОЗЕЛЕНЕНИЕ & РАСТЕНИЯ

Международная выставка
декоративного питомниководства
и зелёных технологий

2 500+ м² Выставочной
площади

100+ Компаний-
участников

1 500 Профессионалов
отрасли

10+ Стран
участниц



УДК 577.2.08:577.212.3:636.082.12:636.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-81-86

Р.Р. Вафин

Х.Х. Гильманов ✉

П.Н. Шастин

В.А. Савинов

Федеральный научный центр —
Всероссийский научно-
исследовательский институт
экспериментальной ветеринарии
имени К.И. Скрябина
и Я.Р. Коваленко Российской
академии наук, Москва, Россия

✉ gilmanov.xx@mail.ru

Поступила в редакцию: 29.01.2026

Одобрена после рецензирования: 15.04.2026

Принята к публикации: 28.04.2026

© Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х.,
Шастин П.Н., Савинов В.А.

Моделирование способов ПЦР-ПДРФ-генотипирования крупного рогатого скота по полиморфным маркерам гена *CXCR1*

РЕЗЮМЕ

Ген *CXCR1* кодирует рецептор интерлейкина-8 и играет ключевую роль в иммунном ответе, регулируя привлечение нейтрофилов к местам воспаления. Однонуклеотидные полиморфизмы в гене *CXCR1* крупного рогатого скота тесно связаны с устойчивостью или восприимчивостью к маститу и лейкозу — двух критических проблем молочного животноводства, которые часто взаимосвязаны через общее снижение иммунитета коровы. Ген *CXCR1*, рассматриваемый как маркер резистентности к маститу и потенциальный генетический фактор, определяющий исход лейкозной инфекции, может быть интегрирован в систему комплексной генетической оценки здоровья крупного рогатого скота. Цель исследования заключалась в выявлении и картировании полиморфных сайтов рестрикции у двух SNP-маркеров (с.735C > G и с.980A > G) гена *CXCR1* *Bos taurus* с последующим ПЦР-ПДРФ-профилированием их возможных генотипов и моделированием способов генотестирования крупного рогатого скота по перечисленным полиморфным маркерам анализируемого локуса. Картированием выявленных полиморфных сайтов рестрикции и последующим профилированием встречаемых генотипов, проведенных в онлайн-программе NEBcutter V3.0, определен потенциал детектирования полиморфных позиций двух SNP-маркеров (с.735C > G и с.980A > G) гена *CXCR1* *Bos taurus* методом ПЦР-ПДРФ-анализа. Анализ сгенерированных *in silico* электрофореграмм подтвердил применимость отобранных эндонуклеаз рестрикции в связке с подобранными праймерами серии *CXCR1*, использованных при моделировании способов генотестирования крупного рогатого скота по указанным SNP-маркерам анализируемого локуса гена. Предложены схемы для будущей экспериментальной апробации смоделированных способов, предусматривающие экстракцию нуклеиновых кислот, постановку ПЦР (полимеразная цепная реакция), ПДРФ (полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) и гель-электрофорез с интерпретацией электрофореграмм в идентификационном ключе.

Ключевые слова: *CXCR1*, *Bos taurus*, SNP-маркеры, ПЦР, ПДРФ, генотипирование

Для цитирования: Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х., Шастин П.Н., Савинов В.А. Моделирование способов ПЦР-ПДРФ-генотипирования крупного рогатого скота по полиморфным маркерам гена *CXCR1*. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 81–86.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-81-86>

Modeling of methods for PCR-RFLP genotyping of cattle using polymorphic markers of the *CXCR1* gene

ABSTRACT

The *CXCR1* gene encodes the interleukin-8 receptor and plays a key role in the immune response, regulating the recruitment of neutrophils to sites of inflammation. Single-nucleotide polymorphisms in the *CXCR1* gene in cattle are closely associated with resistance or susceptibility to mastitis and leukemia—two critical problems in dairy farming that are often interconnected through a general decline in cow immunity. The *CXCR1* gene, considered a marker of mastitis resistance and a potential genetic factor determining the outcome of leukemia infection, can be integrated into a comprehensive genetic health assessment system for cattle. The aim of the study was to identify and map polymorphic restriction sites at two SNP markers (c.735C > G and c.980A > G) of the *CXCR1* gene in *Bos taurus*, followed by PCR-RFLP profiling of their possible genotypes and modeling of methods for gene testing of cattle for the listed polymorphic markers of the analyzed locus. Mapping the identified polymorphic restriction sites and subsequent profiling of the encountered genotypes, carried out in the NEBcutter V3.0 online program, determined the detection potential of polymorphic positions of two SNP markers (c.735C > G and c.980A > G) of the *CXCR1* gene in *Bos taurus* by PCR-RFLP analysis. Analysis of *in silico*-generated electropherograms confirmed the applicability of the selected restriction endonucleases in conjunction with the selected *CXCR1* series primers used to simulate genetic testing methods for cattle for the specified SNP markers of the analyzed gene locus. Schemes for future experimental testing of the simulated methods are proposed, including the extraction of nucleic acids, PCR (polymerase chain reaction), RFLP (restriction fragment length polymorphism) and gel electrophoresis with interpretation of electropherograms in the identification key.

Key words: *CXCR1*, *Bos taurus*, SNP markers, PCR, RFLP, genotyping

For citation: Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh., Shastin P.N., Savinov V.A. Modeling of methods for PCR-RFLP genotyping of cattle using polymorphic markers of the *CXCR1* gene. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 81–86 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-81-86>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-81-86

Ramil R. Vafin

Khamid Kh. Gilmanov ✉

Pavel N. Shastin

Vasily A. Savinov

Federal Scientific Centre VIEV,
Moscow, Russia

✉ gilmanov.xx@mail.ru

Received by the editorial office: 29.01.2026

Accepted in revised: 15.04.2026

Accepted for publication: 28.04.2026

© Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh., Shastin P.N.,
Savinov V.A.

Введение/Introduction

Среди генов, участвующих в врожденном иммунном ответе, немаловажное место занимает *CXCR1* (C-X-C Motif Chemokine Receptor 1 — хемокиновый рецептор 1 C-X-C-мотива), кодирующий высокоаффинный рецептор для интерлейкина-8 (IL-8). Связывание IL-8 с *CXCR1* на поверхности полиморфонуклеарных лейкоцитов запускает их хемотаксис, активацию и замедляет апоптоз, что является критически важным для эффективной борьбы с патогенами [1–3].

В гене *CXCR1* крупного рогатого скота обнаружено множество однонуклеотидных полиморфизмов (SNPs), некоторые из которых, включая с.735C > G и с.980A > G, оказывают влияние на функциональность альфа-рецептора интерлейкина-8 и, как следствие, на резистентность к маститу и даже на молочную продуктивность коров и количество соматических клеток в молоке [4–6].

Помимо своей ключевой роли в иммунном ответе на бактериальные инфекции, такие как мастит, ген *CXCR1* также исследуется в контексте вирусных заболеваний, в частности — энзоотического лейкоза крупного рогатого скота. Это хроническое онкологическое заболевание, вызываемое вирусом бычьего лейкоза (BLV), является одной из наиболее значимых инфекций, наносящих ущерб молочному и мясному животноводству во многих странах мира [7–9].

Изучение ассоциации однонуклеотидных полиморфизмов в кодирующей последовательности гена *CXCR1* с восприимчивостью к лейкозу выявило связь между определенными генотипами SNP-маркера с.980A > G и риском заражения вирусом бычьего лейкоза [7]. Это позволяет предположить, что вариабельность в этом гене, которая ассоциирована с функцией нейтрофилов, может также влиять на более широкий спектр иммунных реакций, включая противовирусный ответ или регуляцию пролиферации лимфоцитов — клеток-мишеней для BLV [10, 11].

Таким образом, *CXCR1* рассматривается не только как маркер устойчивости к маститу [5], но и как потенциальный генетический фактор, определяющий исход лейкозной инфекции [7], что открывает новые перспективы для комплексной генетической оценки здоровья поголовья крупного рогатого скота [12].

Цель исследования — выявление и картирование полиморфных сайтов рестрикции у двух SNP-маркеров (с.735C > G и с.980A > G) гена *CXCR1* *Bos taurus* с последующим ПЦР-ПДРФ-профилированием их возможных генотипов и моделированием способов генотестирования крупного рогатого скота по перечисленным полиморфным маркерам анализируемого локуса.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование выполнено в лаборатории диагностики и контроля антибиотикорезистентности

возбудителей наиболее клинически значимых инфекционных болезней животных Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН (Москва, Россия).

Картирование выявленных полиморфных сайтов рестрикции у двух SNP-маркеров (с.735C > G и с.980A > G) гена *CXCR1* *Bos taurus* с последующим ПЦР-ПДРФ-профилированием их возможных генотипов проведены в онлайн-программе NEBcutter V3.0 (<https://nc3.neb.com/NEBcutter/>).

Ключевым критерием отбора рестриктаз являлась теоретическая способность к генерации генотип-специфичных фрагментов в контексте их применимости с подобранными праймерами серии *CXCR1* в ПЦР-ПДРФ-генотипировании крупного рогатого скота по SNP-маркерам с.735C > G и с.980A > G анализируемого гена.

Реализация экспериментальной части исследования в рамках планируемой экспериментальной апробации потребует дальнейших технологических процедур, связанных с экстракцией нуклеиновых кислот, постановкой ПЦР, ПДРФ и гель-электрофорезной детекцией.

Для экстракции нуклеиновых кислот из цельной консервированной крови крупного рогатого скота планируется использовать комплект реагентов для выделения РНК/ДНК из клинического материала «РИБО-преп» (АмплиСенс, Россия).

Для постановок ПЦР с подобранными праймерами серии *CXCR1* (F1 и R1 [13], F2 и R2 [14], F3 и R3 [15], F4, R4 и R5 [5]), иницирующими амплификацию локуса гена *CXCR1* *Bos taurus* разной длины, запланировано применение набора реагентов «Encyclo Plus PCR kit» (ЗАО «Евроген», Россия).

Процедуру эндонуклеазного расщепления амплифицируемых ПЦР-проб планируется выполнить с отобранными рестриктазами (*Bsp1286I*, *BaeGI* и *Bsu36I*) (New England Biolabs, США) или их изошизомерами (*MhlI*, *BstSLI*, *Bse21I*) (ООО «СибЭнзайм, Россия).

Гель-электрофорезную детекцию запланировано провести с помощью горизонтального электрофореза в 2,5% агарозном геле в буфере TAE (pH 8,0) с последующей визуализацией электрофореграмм в УФ-трансиллюминаторе.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Биоинформационный анализ депонированных в GenBank NCBI нуклеотидных последовательностей локуса гена *CXCR1* *Bos taurus*, в т. ч. ограниченных праймерами *CXCR1*-F1 и *CXCR1*-R1 [13], подтверждает наличие ранее описанных SNPs в 16 полиморфных позициях: 37, 38, 68, 291, 333, 337, 365, 570, 642, 735, 816, 819, 980, 995, 1008 и 1068.

Локализация вышеперечисленных и других полиморфных позиций со смешанными нуклеотидами отмечена на смоделированной синтетической последовательности анализируемого локуса гена, представленной фрагментарно (рис. 1).

Представленная на рисунке 1 синтетическая модель преимущественно сформирована в результате множественного выравнивания депонированных последовательностей 5 гаплотипов гена *CXCR1 Bos taurus*: гаплотип 1 (HM013954), гаплотип 2 (HM013955), гаплотип 3 (HM013956), гаплотип 4 (HM013957) и гаплотип 5 (JX050220). Анализ нуклеотидных последовательностей указанных гаплотипов обосновывает наличие 16 SNPs: с.37A > T, с.38T > A, с.68G > A, с.291C > T, с.333T > C, с.337G > A, с.365T > C, с.570G > A, с.642G > A, с.735C > G, с.816C > A, с.819G > A, с.980A > G, с.995A > G, с.1008C > T и с.1068G > A [13].

При этом вышеперечисленные SNPs тождественны ранее описанным SNP-маркерам *АН6-1* (с.816C > A), *АН6-3* (с.735C > G), *АН6-4* (с.570G > A) [14]. Полиморфная позиция еще одного SNP-маркера *АН6-2* (с.742C > A) дополнительно была учтена в представленной синтетической модели. Указанные SNP-маркеры серии *АН6* фигурируют в депонированных последовательностях следующих 5 гаплотипов: GCCC (AF140648), GCCA (AF140649), AGCC (AF140650), ACCC (AF140651), GCAA (AF140652). Локализация праймеров CXCR1-F2 и CXCR1-R2 [14], фланкирующих депонированные нуклеотидные последовательности (AF140648-AF140652) указанных гаплотипов тоже отмечена на рисунке 1.

Наряду с вышеперечисленными полиморфными позициями на смоделированной синтетической последовательности гена *CXCR1* отражена локализация других SNPs, включая с.621G > A и с.472A > G. Данные однонуклеотидные полиморфизмы, согласно литературным источникам [4, 16], также учитывались при идентификации гаплотипов и комплексных генотипов в комбинации с другими SNPs. В частности, с.621G > A анализировалась в комбинации с с.735C > G, с.816C > A и с.980A > G при идентификации 7 гаплотипов: GCCA, AGCG, GCAG, GGCG, GCCG, GCAA и ACCA [4].

В настоящем исследовании установлены локализации выявленных полиморфных сайтов рестрикции, затрагивающие SNP-маркеры с.735C > G и с.980A > G гена *CXCR1 Bos taurus*, ассоциированные с резистентностью к маститу и лейкозу крупного рогатого скота (рис. 1).

Результаты *in silico* моделирования ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркеров с.735C > G и с.980A > G гена *CXCR1 Bos taurus* с праймерами и эндонуклеазами рестрикции, отобранными для генотипирования, отображены на рисунках 2–4.

На рисунке 2 представлен результат *in silico* моделирования ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов

Рис. 1. Локализация полиморфных позиций и полиморфных сайтов рестрикции, а также праймеров серии CXCR1 на частичных последовательностях гена *CXCR1 Bos taurus*

Fig. 1. Localization of polymorphic positions and polymorphic restriction sites, as well as primers of the CXCR1 series on partial sequences of the *CXCR1* gene in *Bos taurus*

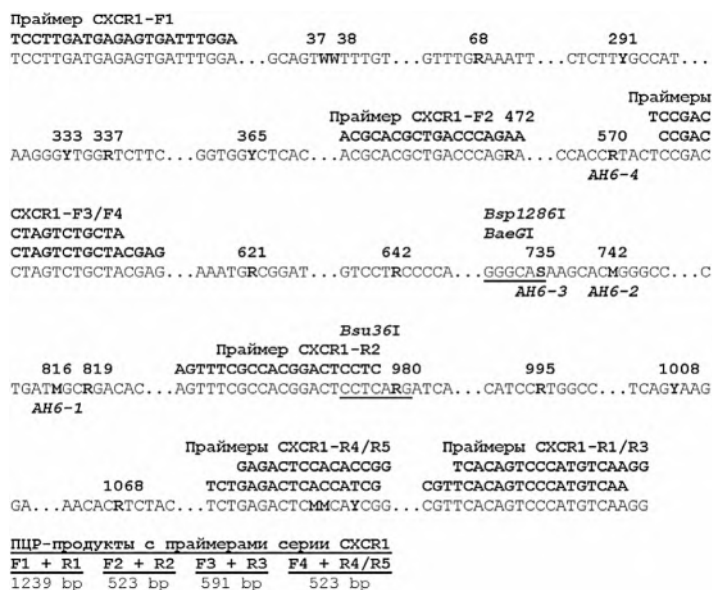
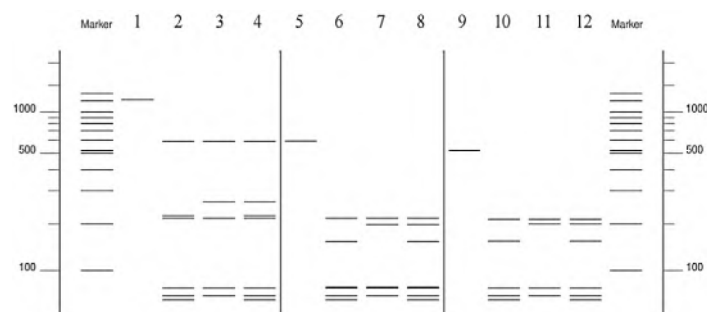


Рис. 2. Моделирование *Bsp1286I*-ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркера с.735C > G гена *CXCR1 Bos taurus* с праймерами серии CXCR1

Обозначения: 1–4) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F1 и CXCR1-R1: 1) ПЦР-продукт (1239 bp); 2–4) ПДРФ-профили: 2) генотип CC (589/221/214/64/64/48/39 bp); 3) генотип GG (589/260/214/64/64/48 bp); 4) генотип CG (589/260/221/214/64/64/48/39 bp). 5–8) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F3 и CXCR1-R3: 5) ПЦР-продукт (591 bp); 6–8) ПДРФ-профили: 6) генотип CC (214/160/66/64/48/39 bp); 7) генотип GG (214/199/66/64/48 bp); 8) генотип CG (214/199/160/66/64/48/39 bp). 9–12) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F4, CXCR1-R4 и CXCR1-R5: 9) ПЦР-продукт (523 bp); 10–12) ПДРФ-профили: 10) генотип CC (211/161/64/48/39 bp); 11) генотип GG (211/200/64/48 bp); 12) генотип CG (211/200/161/64/48/39 bp).

Fig. 2. Simulation of *Bsp1286I*-PCR-RFLP profiles of SNP marker с.735C > G genotypes of the *CXCR1* gene in *Bos taurus* with CXCR1 primer series.

Notation: 1-4) PCR-RFLP profiles with primers CXCR1-F1 and CXCR1-R1: 1) PCR product (1239 bp); 2-4) RFLP profiles: 2) CC genotype (589/221/214/64/64/48/39 bp); 3) GG genotype (589/260/214/64/64/48 bp); 4) CG genotype (589/260/221/214/64/64/48/39 bp). 5-8) PCR-RFLP profiles with primers CXCR1-F3 and CXCR1-R3: 5) PCR product (591 bp); 6-8) RFLP profiles: 6) CC genotype (214/160/66/64/48/39 bp); 7) GG genotype (214/199/66/64/48 bp); 8) CG genotype (214/199/160/66/64/48/39 bp). 9-12) PCR-RFLP profiles with primers CXCR1-F4, CXCR1-R4, and CXCR1-R5: 9) PCR product (523 bp); 10-12) RFLP profiles: 10) CC genotype (211/161/64/48/39 bp); 11) GG genotype (211/200/64/48 bp); 12) CG genotype (211/200/161/64/48/39 bp).



SNP-маркера с.735C > G гена *CXCR1 Bos taurus* с эндонуклеазой рестрикции *Bsp1286I* и рядом подобранных праймеров серии CXCR1.

Отобранная эндонуклеаза рестрикции *Bsp1286I* ранее применялась для детекции SNP-маркера с.735C > G с другим набором праймеров, иницирующих амплификацию ПЦР-продукта локуса гена *CXCR1* длиной 202 bp, специально сконструированных исключительно для генотипирования по указанному однонуклеотидному полиморфизму [17].

Результат *in silico* моделирования ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркера с.735C > G гена *CXCR1 Bos taurus* с эндонуклеазой рестрикции *BaeGI* и подобранными праймерами серии CXCR1 представлен на рисунке 3.

Данная рестриктаза *BaeGI* также ранее применялась для детекции SNP-маркера с.735C > G с иным набором праймеров, нацеленных на генерацию ПЦР-продукта локуса гена *CXCR1* длиной 181 bp, тоже предназначавшихся для генотипирования только по указанному однонуклеотидному полиморфизму [16].

Анализ сгенерированных *in silico* электрофореграмм, представленных на рисунках 2 и 3, подтверждает применимость отобранных эндонуклеаз рестрикции *Bsp1286I* и *BaeGI* в связке с подобранными праймерами серии CXCR1.

Однако для повышения разрешающей способности гель-электрофорезной детекции SNP-маркера с.735C > G рестриктазу *Bsp1286I* все же целесообразно использовать в связке с праймерами CXCR1-F3 и CXCR1-R3, а рестриктазу *BaeGI* с праймерами CXCR1-F1 и CXCR1-R1 или CXCR1-F4, CXCR1-R4 и CXCR1-R5.

При интерпретации электрофореграмм необходимо акцентировать внимание на идентификационно-значимые ПДРФ-фрагменты, характерные для определенного генотипа, за исключением неинформативных паттернов малой длины в диапазоне 64–33 bp.

На рисунке 4 представлен результат *in silico* моделирования ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркера с.980A > G гена *CXCR1 Bos taurus* с эндонуклеазой рестрикции *Bsu36I* и праймерами серии CXCR1.

Рассчитанные *Bsu36I*-ПЦР-ПДРФ-фрагменты ассоциированы с тремя генотип-специфичными профилями SNP-маркера с.980A > G. Среди них два гомозиготных профиля генотипов AA и GG, а также гетерозиготный профиль генотипа AG (рис. 4).

Генерация рассчитанных фрагментов и ассоциированных с ними профилей опосредована полиморфной позицией SNP-маркера с.980A > G в положении 980,

Рис. 3. Моделирование *BaeGI*-ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркера с.735C > G гена *CXCR1 Bos taurus* с праймерами серии CXCR1. Обозначения: 1–4) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F1 и CXCR1-R1: 1) ПЦР-продукт (1239 bp); 2–4) ПДРФ-профили: 2) генотип CC (589/278/221/103/48 bp); 3) генотип GG (589/324/278/48 bp); 4) генотип CG (589/324/278/221/103/48 bp). 5–8) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F3 и CXCR1-R3: 5) ПЦР-продукт (591 bp); 6–8) ПДРФ-профили: 6) генотип CC (280/160/103/48 bp); 7) генотип GG (280/263/48 bp); 8) генотип CG (280/263/160/103/48 bp). 9–12) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F4, CXCR1-R4 и CXCR1-R5: 9) ПЦР-продукт (523 bp); 10–12) ПДРФ-профили: 10) генотип CC (211/161/103/48 bp); 11) генотип GG (264/211/48 bp); 12) генотип CG (264/211/161/103/48 bp).

Fig. 3. Simulation of *BaeGI*-PCR-RFLP profiles of genotypes of the SNP marker с.735C > G of the *CXCR1* gene in *Bos taurus* with primers from the CXCR1 series.

Notation: 1–4) PCR-RFLP profiles with primers CXCR1-F1 and CXCR1-R1: 1) PCR product (1239 bp); 2–4) RFLP profiles: 2) CC genotype (589/278/221/103/48 bp); 3) GG genotype (589/324/278/48 bp); 4) CG genotype (589/324/278/221/103/48 bp). 5–8) PCR-RFLP profiles with primers CXCR1-F3 and CXCR1-R3: 5) PCR product (591 bp); 6–8) RFLP profiles: 6) CC genotype (280/160/103/48 bp); 7) GG genotype (280/263/48 bp); 8) CG genotype (280/263/160/103/48 bp). 9–12) PCR-RFLP profiles with primers CXCR1-F4, CXCR1-R4, and CXCR1-R5: 9) PCR product (523 bp); 10–12) RFLP profiles: 10) CC genotype (211/161/103/48 bp); 11) GG genotype (264/211/48 bp); 12) CG genotype (264/211/161/103/48 bp).

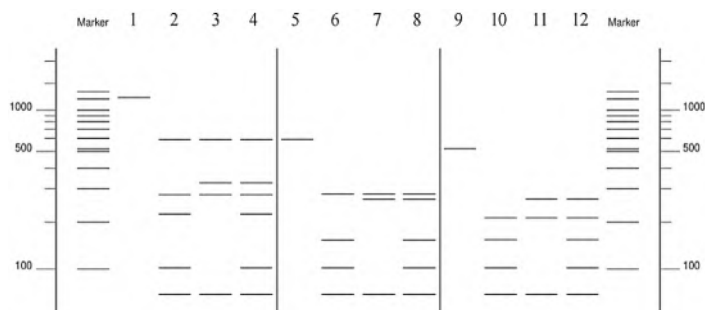
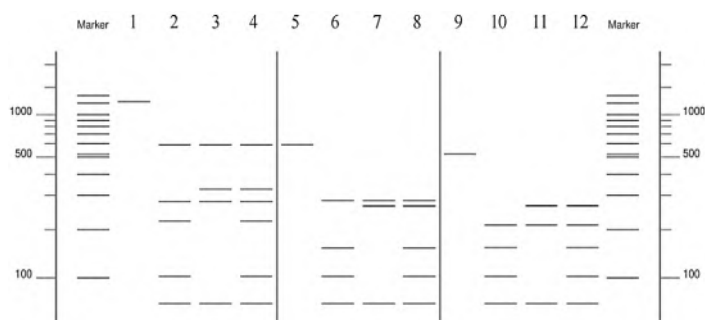


Рис. 4. Моделирование *Bsu36I*-ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркера с.980A > G гена *CXCR1 Bos taurus* с праймерами серии CXCR1.

Обозначения: 1–4) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F1 и CXCR1-R1: 1) ПЦР-продукт (1239 bp); 2–4) ПДРФ-профили: 2) генотип AA (1239 bp); 3) генотип GG (1052/187 bp); 4) генотип AG (1239/1052/187 bp). 5–8) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F3 и CXCR1-R3: 5) ПЦР-продукт (591 bp); 6–8) ПДРФ-профили: 6) генотип AA (591 bp); 7) генотип GG (402/189 bp); 8) генотип AG (591/402/189 bp). 9–12) ПЦР-ПДРФ-профили с праймерами CXCR1-F4, CXCR1-R4 и CXCR1-R5: 9) ПЦР-продукт (523 bp); 10–12) ПДРФ-профили: 10) генотип AA (523 bp); 11) генотип GG (403/120 bp); 12) генотип AG (523/403/120 bp).

Fig. 4. Modeling of *Bsu36I*-PCR-RFLP profiles of genotypes of SNP marker с.980A > G of the *CXCR1* *Bos taurus* gene with CXCR1 series primers

Notation: 1–4) PCR-RFLP profiles with CXCR1-F1 and CXCR1-R1 primers: 1) PCR product (1239 bp); 2–4) RFLP profiles: 2) AA genotype (1239 bp); 3) GG genotype (1052/187 bp); 4) AG genotype (1239/1052/187 bp). 5–8) PCR-RFLP profiles with CXCR1-F3 and CXCR1-R3 primers: 5) PCR product (591 bp); 6–8) RFLP profiles: 6) AA genotype (591 bp); 7) GG genotype (402/189 bp); 8) AG genotype (591/402/189 bp). 9–12) PCR-RFLP profiles with CXCR1-F4, CXCR1-R4 and CXCR1-R5 primers: 9) PCR product (523 bp); 10–12) RFLP profiles: 10) AA genotype (523 bp); 11) GG genotype (403/120 bp); 12) AG genotype (523/403/120 bp).



приводящей к созданию участка узнавания рестриктазы *Bsu36I* (CC/TNAGG) при SNP с заменой аденина (A) на гуанин (G) (рис. 1).

Анализ сгенерированной *in silico* электрофореграммы, размещенной на рисунке 4, указывает на применимость отобранной эндонуклеазы рестрикции *Bsu36I* вместе с подобранными праймерами серии CXCR1 в ПЦР-ПДРФ-генотипировании крупного рогатого скота по SNP-маркеру с.980A > G.

Следует отметить, что настоящая работа — первое исследование, демонстрирующее потенциальную возможность использования метода ПЦР-ПДРФ для детекции SNP-маркера с.980A > G гена *CXCR1 Bos taurus*, в т. ч. рестриктазой *Bsu36I*. При этом технологическая доступность и простота ПЦР-ПДРФ-анализа, а также его аналитические характеристики (чувствительность, специфичность и воспроизводимость) способны обеспечить правильную интерпретацию результатов [18].

Наряду с будущей экспериментальной апробацией смоделированных способов ПЦР-ПДРФ-генотипирования крупного рогатого скота, планируется разработка других высокоточных ДНК-технологий, в т. ч. основанных на методе

капиллярного секвенирования, а также разновидности ПЦР в реальном времени в формате гибридизационно-флуоресцентной детекции однонуклеотидных полиморфизмов [19, 20].

Выводы/Conclusions

Картированием выявленных полиморфных сайтов рестрикции и последующим профилированием встречаемых генотипов определен потенциал детектирования полиморфных позиций двух SNP-маркеров (с.735C > G и с.980A > G) гена *CXCR1 Bos taurus* методом ПЦР-ПДРФ-анализа. Анализом сгенерированных *in silico* электрофореграмм подтверждена применимость отобранных эндонуклеаз рестрикции (*Bsp1286I*, *BaeGI* и *Bsu36I*) в связке с подобранными праймерами серии CXCR1, использованных при моделировании способов генотестирования крупного рогатого скота по указанным SNP-маркерам анализируемого локуса гена. Предложенные схемы будущей экспериментальной апробации смоделированных способов предусматривают проведение технологических процедур, направленных на экстракцию нуклеиновых кислот, постановку ПЦР, ПДРФ и гель-электрофорез с интерпретацией электрофореграмм в идентификационном ключе.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-76-10025, <https://rscf.ru/project/25-76-10025/>

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation No.25-76-10025 <https://rscf.ru/en/project/25-76-10025/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Avanus K. *et al.* CXCR1 Gene SNP Variability that Affects Mastitis Resistance in Holstein Cows in Türkiye. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2025; 31(1): 119–124. <http://doi.org/10.9775/kvfd.2024.32948>
2. Verbeke J. *et al.* Reactive oxygen species generation by bovine blood neutrophils with different CXCR1 (IL8RA) genotype following Interleukin-8 incubation. *BMC Veterinary Research*. 2015; 11: 104. <http://doi.org/10.1186/s12917-015-0418-5>
3. Toya S. *et al.* A narrative review of chemokine receptors CXCR1 and CXCR2 and their role in acute respiratory distress syndrome. *Eur. Respir. Rev.* 2024; 33(173): 230172. <http://doi.org/10.1183/16000617.0172-2023>
4. Pighetti G.M., Kojima C.J., Wojakiewicz L., Rambeaud M. The bovine CXCR1 gene is highly polymorphic. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2012; 145(1–2): 464–470. <http://doi.org/10.1016/j.vetimm.2011.09.012>
5. Verbeke J., Van Poucke M., Peelman L., Piepers S., De Vliegher S. Associations between CXCR1 polymorphisms and pathogen-specific incidence rate of clinical mastitis, test-day somatic cell count, and test-day milk yield. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(12): 7927–7939. <http://doi.org/10.3168/jds.2014-8216>
6. Galvão K.N., Pighetti G.M., Cheong S.H., Nydam D.V., Gilbert R.O. Association between interleukin-8 receptor-α (CXCR1) polymorphism and disease incidence, production, reproduction, and survival in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94(4): 2083–2091. <http://doi.org/10.3168/jds.2010-3636>
7. Wang M.Q. *et al.* Association analysis between SNPs of CXCR1 gene and susceptibility to bovine leukemia in Chinese Holstein (*Bos taurus*). *Journal of Agricultural Biotechnology*. 2017; 25(10): 1637–1642 (на кит. яз.).

REFERENCES

1. Avanus K. *et al.* CXCR1 Gene SNP Variability that Affects Mastitis Resistance in Holstein Cows in Türkiye. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2025; 31(1): 119–124. <http://doi.org/10.9775/kvfd.2024.32948>
2. Verbeke J. *et al.* Reactive oxygen species generation by bovine blood neutrophils with different CXCR1 (IL8RA) genotype following Interleukin-8 incubation. *BMC Veterinary Research*. 2015; 11: 104. <http://doi.org/10.1186/s12917-015-0418-5>
3. Toya S. *et al.* A narrative review of chemokine receptors CXCR1 and CXCR2 and their role in acute respiratory distress syndrome. *Eur. Respir. Rev.* 2024; 33(173): 230172. <http://doi.org/10.1183/16000617.0172-2023>
4. Pighetti G.M., Kojima C.J., Wojakiewicz L., Rambeaud M. The bovine CXCR1 gene is highly polymorphic. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2012; 145(1–2): 464–470. <http://doi.org/10.1016/j.vetimm.2011.09.012>
5. Verbeke J., Van Poucke M., Peelman L., Piepers S., De Vliegher S. Associations between CXCR1 polymorphisms and pathogen-specific incidence rate of clinical mastitis, test-day somatic cell count, and test-day milk yield. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(12): 7927–7939. <http://doi.org/10.3168/jds.2014-8216>
6. Galvão K.N., Pighetti G.M., Cheong S.H., Nydam D.V., Gilbert R.O. Association between interleukin-8 receptor-α (CXCR1) polymorphism and disease incidence, production, reproduction, and survival in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94(4): 2083–2091. <http://doi.org/10.3168/jds.2010-3636>
7. Wang M.Q. *et al.* Association analysis between SNPs of CXCR1 gene and susceptibility to bovine leukemia in Chinese Holstein (*Bos taurus*). *Journal of Agricultural Biotechnology*. 2017; 25(10): 1637–1642 (in Chinese).

8. Донник И.М., Гулюкин М.И., Бусол В.А., Коваленко Л.В., Коваленко А.М. Лейкоз крупного рогатого скота — диагностика, оздоровление, антропозоонозный потенциал (История вопроса). *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(2): 230–244. <http://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.2.230rus>
9. Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х., Шастин П.Н. Разработка ДНК-технологий генотипирования Bovine leukemia virus. *Ветеринария и кормление*. 2025; (5): 16–21. <http://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-5-4>
10. Vlasova A.N., Saif L.J. Bovine Immunology: Implications for Dairy Cattle. *Front. Immunol.* 2021; 12: 643206. <http://doi.org/10.3389/fimmu.2021.643206>
11. Kabeya H., Ohashi K., Onuma M. Host Immune Responses in the Course of Bovine Leukemia Virus Infection. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2001; 63(7): 703–708. <http://doi.org/10.1292/jvms.63.703>
12. Chalupková M., Moravčíková N., Halvoník A., Kasarda R. Genetic and Genomic Evaluation of Health Traits in Cattle Breeding: A Review. *Acta fytotechnica et zootechnica*. 2024; 27(3): 209–215. <http://doi.org/10.15414/afz.2024.27.03.209-215>
13. Verbeke J., Piepers S., Peelman L., Van Poucke M., De Vliegheer S. Pathogen-group specific association between *CXCR1* polymorphisms and subclinical mastitis in dairy heifers. *Journal of Dairy Research*. 2012; 79(3): 341–351. <http://doi.org/10.1017/S0022029912000349>
14. Grosse W.M., Kappes S.M., Laegreid W.W., Keele J.W., Chitko-McKown C.G., Heaton M.P. Single nucleotide polymorphism (SNP) discovery and linkage mapping of bovine cytokine genes. *Mammalian Genome*. 1999; 10(11): 1062–1069. <http://doi.org/10.1007/s003359901162>
15. Pokorska J., Duszka M., Kułaj D., Żukowski K., Makulska J. Single nucleotide polymorphisms in the *CXCR1* gene and its association with clinical mastitis incidence in Polish Holstein-Friesian cows. *Genetics and Molecular Research*. 2016; 15(2): 15027247.
16. Pawlik A., Sender G., Kapera M., Korwin-Kossakowska A. Association between interleukin 8 receptor α gene (*CXCR1*) and mastitis in dairy cattle. *Central European Journal of Immunology*. 2015; 40(2): 153–158. <http://doi.org/10.5114/ceji.2015.52828>
17. Beecher C. et al. Polymorphisms in bovine immune genes and their associations with somatic cell count and milk production in dairy cattle. *BMC Genetics*. 2010; 11: 99. <http://doi.org/10.1186/1471-2156-11-99>
18. Hashim H.O., Al-Shuhaib M.B.S. Exploring the Potential and Limitations of PCR-RFLP and PCR-SSCP for SNP Detection: A Review. *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 2019; 6(4): 137–144. <https://doi.org/10.29252/JABR.06.04.02>
19. Hossein-Zadeh N.G. An overview of recent technological developments in bovine genomics. *Veterinary and Animal Science*. 2024; 25: 100382. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100382>
20. Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х. Способы проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по анализируемым SNP-маркерам гена iNOS. *Аграрная наука*. 2025; (8): 58–63. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-58-63>

ОБ АВТОРАХ:

Рамиль Ришадович Вафин

доктор биологических наук, профессор РАН,
научный консультант
vafin-ramil@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0914-0053>

Хамид Халимович Гильманов

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
gilmanov.xx@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7053-6925>

Павел Николаевич Шастин

кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
shastin.pasha@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7360-927X>

Василий Александрович Савинов

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
visik06@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1891-0005>

Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.П. Коваленко
Российской академии наук,
Рязанский пр-т, 24, Москва, 109428, Россия

8. Donnik I.M., Gulyukin M.I., Busol V.A., Kovalenko L.V., Kovalenko A.M. Bovine leukemia virus infection — diagnostics, eradication, and anthrozoonotic potential (Background). *Agricultural Biology*. 2021; 56(2): 230–244. <http://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.2.230rus> (in Russian)
9. Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh., Shastin P.N. Development of DNA technologies for genotyping Bovine leukemia virus. *Veterinaria i kormlenie*. 2025; (5): 16–21 (in Russian). <http://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-5-4>
10. Vlasova A.N., Saif L.J. Bovine Immunology: Implications for Dairy Cattle. *Front. Immunol.* 2021; 12: 643206. <http://doi.org/10.3389/fimmu.2021.643206>
11. Kabeya H., Ohashi K., Onuma M. Host Immune Responses in the Course of Bovine Leukemia Virus Infection. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2001; 63(7): 703–708. <http://doi.org/10.1292/jvms.63.703>
12. Chalupková M., Moravčíková N., Halvoník A., Kasarda R. Genetic and Genomic Evaluation of Health Traits in Cattle Breeding: A Review. *Acta fytotechnica et zootechnica*. 2024; 27(3): 209–215. <http://doi.org/10.15414/afz.2024.27.03.209-215>
13. Verbeke J., Piepers S., Peelman L., Van Poucke M., De Vliegheer S. Pathogen-group specific association between *CXCR1* polymorphisms and subclinical mastitis in dairy heifers. *Journal of Dairy Research*. 2012; 79(3): 341–351. <http://doi.org/10.1017/S0022029912000349>
14. Grosse W.M., Kappes S.M., Laegreid W.W., Keele J.W., Chitko-McKown C.G., Heaton M.P. Single nucleotide polymorphism (SNP) discovery and linkage mapping of bovine cytokine genes. *Mammalian Genome*. 1999; 10(11): 1062–1069. <http://doi.org/10.1007/s003359901162>
15. Pokorska J., Duszka M., Kułaj D., Żukowski K., Makulska J. Single nucleotide polymorphisms in the *CXCR1* gene and its association with clinical mastitis incidence in Polish Holstein-Friesian cows. *Genetics and Molecular Research*. 2016; 15(2): 15027247.
16. Pawlik A., Sender G., Kapera M., Korwin-Kossakowska A. Association between interleukin 8 receptor α gene (*CXCR1*) and mastitis in dairy cattle. *Central European Journal of Immunology*. 2015; 40(2): 153–158. <http://doi.org/10.5114/ceji.2015.52828>
17. Beecher C. et al. Polymorphisms in bovine immune genes and their associations with somatic cell count and milk production in dairy cattle. *BMC Genetics*. 2010; 11: 99. <http://doi.org/10.1186/1471-2156-11-99>
18. Hashim H.O., Al-Shuhaib M.B.S. Exploring the Potential and Limitations of PCR-RFLP and PCR-SSCP for SNP Detection: A Review. *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 2019; 6(4): 137–144. <https://doi.org/10.29252/JABR.06.04.02>
19. Hossein-Zadeh N.G. An overview of recent technological developments in bovine genomics. *Veterinary and Animal Science*. 2024; 25: 100382. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100382>
20. Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh. Methods of conducting real-time PCR for genotyping cattle by analyzed SNP markers of the iNOS gene. *Agrarian science*. 2025; (8): 58–63 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-58-63>

ABOUT THE AUTHORS:

Ramil Rishadovich Vafin

Doctor of Biological Sciences, Professor of RAS,
Scientific Consultant
vafin-ramil@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0914-0053>

Khamid Khalimovich Gilmanov

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
gilmanov.xx@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7053-6925>

Pavel Nikolaevich Shastin

Candidate of veterinary sciences, Senior Researcher
shastin.pasha@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7360-927X>

Vasiliy Alexandrovich Savinov

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
visik06@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1891-0005>

Federal Scientific Centre VIEV,
24 Ryazansky Prospekt, bld. 1, Moscow, 109428, Russia

УДК 631.459.3

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-87-94

Е.Я. Чебоचाков ✉

М.А. Мартынова

В.Н. Муртаев

Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии – филиал ФГБУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», с. Зеленое, Усть-Абаканский район, Россия

✉ echebochakov@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.02.2026

Одобрена после рецензирования: 12.04.2026

Принята к публикации: 26.04.2026

© Чебоचाков Е.Я., Мартынова М.А., Муртаев В.Н.

Деградация почв в низкогорном степном районе Республики Хакасия

РЕЗЮМЕ

Исследователи изучали влияние технологий использования земель на деградацию почв в XX веке и в текущем периоде. Проявление ветровой и водной эрозии изучали в низкогорном степном почвенно-географическом районе Республики Хакасия, расположенном на юге Средней Сибири по материалам Научно-исследовательского института аграрных проблем Хакасии на эродированных почвах, СибНИИПИ землеустройства и мелиорации, «Росгипрозема» и Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Хакасия. Антропогенная нагрузка на степные экосистемы (большая распаханность территории, нерегулируемый выпас овец и коз, отсутствие почвозащитной технологии освоения целинных и залежных земель привели к уничтожению растительного покрова и к деградации почв в 1960-х годах. В настоящее время эти факторы являются причиной проявления дефляции в низкогорной степи Средней Сибири. Полезащитные лесные полосы, созданные из вяза приземистого, тополя черного, расположенные через 300-350 м, повышают агроэкологическую устойчивость степных селхозугодий. В современных условиях применение агролесомелиоративного противозерозионного комплекса (полезащитные лесные полосы, почвозащитная обработка, сокращение площади пашни) позволяет уменьшить эрозионные процессы в степных агроландшафтах.

Ключевые слова: степь, целина, полезащитные лесные полосы, почва, эрозия, технология, обработка, деградация почв

Для цитирования: Чебоचाков Е.Я., Мартынова М.А., Муртаев В.Н. Деградация почв в низкогорном степном районе Республики Хакасия. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 87–94.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-87-94>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-87-94

Egor Y. Chebochakov ✉

Marina A. Martynova

Valeriy N. Murtaev

Research institute of agrarian problems of Khakassia – Branch of the Federal state budgetary scientific institution «Federal research center “Krasnoyarsk Science Center” of the Siberian branch of the Russian academy of sciences», Zelyonoye village, Ust-Abakansky district, Russia

✉ echebochakov@mail.ru

Received by the editorial office: 15.02.2026

Accepted in revised: 12.04.2026

Accepted for publication: 26.04.2026

© Chebochakov E.Y., Martynova M.A., Murtaev V.N.

Soil degradation in the foothill steppe zone of the Republic of Khakassia

ABSTRACT

This study analyzes the impact of land-use technologies on soil degradation during the 20th century and under contemporary conditions in the foothill steppe soil-geographical zone of the Republic of Khakassia, located in southern Middle Siberia. Wind and water erosion were assessed based on research data from the Khakassia Research Institute of Agricultural Problems (conducted on eroded soils), the Siberian Scientific Research Institute of Land Management and Reclamation (SibNIPIZem), the Federal State Unitary Enterprise “Rosgiprozem,” and the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Khakassia. Intensive anthropogenic pressure on steppe ecosystems - including extensive plowing, unregulated grazing of sheep and goats, and the absence of soil conservation practices during the cultivation of virgin and fallow lands - led to the destruction of vegetation cover and severe soil degradation in the 1960s. These historical factors continue to contribute to active deflation processes in the foothill steppes of Middle Siberia today. Shelterbelts composed of Siberian elm (*Ulmus pumila*) and black poplar (*Populus nigra*), established at intervals of 300-350 m, enhance the agroecological stability of steppe croplands. Under current conditions, the implementation of an integrated agroforestry anti-erosion system - comprising shelterbelts, conservation tillage, and reduction of arable land area - effectively mitigates erosion processes in steppe agrolandscapes.

Key words: steppe, virgin land, field-protective forest strips, soil, soil erosion, agricultural technology, tillage, soil degradation

For citation: Chebochakov E.Y., Martynova M.A., Murtaev V.N. Soil degradation in the foothill steppe zone of the Republic of Khakassia. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 87–94 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-87-94>

Введение/Introduction

В современных социально-экономических условиях, по мнению М.К. Сулейменова, «мир озабочен набирающим устрашающий ход процессом опустынивания...» [1].

По данным ООН, треть поверхности Земли подвергается деградации. Ежегодно человечество теряет 12 млн. га земель и 75 млрд тонн плодородных почв. На этих землях можно было бы получить 20 млн тонн зерна [2].

В 2017 г. Генеральной Ассамблеей ООН была принята резолюция по устойчивому развитию на период до 2030 г. Одни из главных целей в повестке дня — «защита и восстановление экосистем суши, содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биологического разнообразия»¹. До 2030 г. планировалось вести борьбу с опустыниванием, восстанавливать деградировавшие земли и почвы, в том числе затронутые опустыниванием, засухами и наводнениями, стремиться к тому, чтобы остановить процесс ухудшения состояния земель во всем мире. В Республике Хакасия изучение дефляционных процессов весьма актуально.

Деградация агроландшафтов на больших площадях отмечается в европейской и азиатской частях страны [3–8].

Территория Среднерусской возвышенности, расположенной в Европейской части России, в связи с высоким уровнем распашки относится к числу наиболее эрозионно-опасных [5].

Дефляция и водная эрозия отмечаются в Западной и Восточной Сибири [2, 7, 10].

Лесные насаждения способствуют предупреждению деградации почвенного покрова пахотных земель, улучшению микроклимата полей, сохранению устойчивости и биологического разнообразия ландшафта [11].

Система полезащитных лесных полос (ПЗЛП) — это долго действующий искусственно созданный каркас территории [12–14]. Земледелие в начале XXI столетия, как и прежде в засушливых степных агроландшафтах, развивается в сложных социально-экономических и экологических условиях.

Цель исследований — определить противозерозионную устойчивость почв низогорного степного района в Республике Хакасия во второй половине XX в. и в начале XXI в. для обоснования подходов к предотвращению деградации агроландшафтов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объектами исследования являлись процессы деградации (ветровой и водной эрозии) почвенного покрова в низогорном степном почвенно-географическом районе Республики Хакасия, а также эффективность защитных мероприятий (полезащитных лесных полос и почвозащитных обработок) в разные периоды землепользования.

Работа выполнена на основе комплексного ретроспективного анализа и современных полевых исследований. Дизайн исследования включает два временных среза.

Ретроспективный анализ (1950–1990-е гг.). Проведено изучение архивных материалов и литературных источников для оценки последствий массового освоения целинных и залежных земель. Использовались данные:

- научных отчетов Научно-исследовательского института аграрных проблем Хакасии (НИИАП Хакасии) за 1960–1990 гг.;
- материалов Генеральной схемы противозерозионных мероприятий Восточно-Сибирского филиала института «Росгипрозем» (1973 г.)²;
- данных крупномасштабного почвенного обследования (1969 г. и 1993 г.) Сибирского научно-исследовательского и проектно-изыскательского института землеустройства и мелиорации (СибНИИПИ землеустройства и мелиорации) в границах землепользования АО «Бейское».

Целью ретроспективного анализа являлось установление площадей и степени эродированности почв, а также выявление причинно-следственных связей между применявшимися агротехнологиями (системы обработки) и развитием деградационных процессов.

Современные полевые исследования (2023–2025 гг.). Проведены для оценки влияния природных, антропогенных факторов на плодородие почв и эффективности сохранившихся элементов агролесомелиоративного комплекса.

Объекты — три системы полезащитных лесных полос (ПЗЛП) в окрестностях населенных пунктов Уты, Новотроицкого и села Бея (АО «Бейское»), заложенные 37–42 года назад. Расстояние между полосами составляет 300–350 м, схема посадки — 3 × 1 м.

Методы полевых исследований

1. Рекогносцировочное обследование с последующей закладкой временных пробных площадей размером 400 м², охватывающих всю ширину лесной полосы.

2. Лесоводственно-таксационное обследование: определение породного состава, средней

¹ Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН A/RES/71/313 от 6 июля 2017 г. «Деятельность Статистической комиссии, связанная с Повесткой дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://undocs.org/ru/A/RES/71/313> (дата обращения: 02.03.2026).

² Генеральная схема противозерозионных мероприятий на Хакасскую автономную область Красноярского края. Красноярск: Восточно-Сибирский филиал института РосГИПРОЗЕМ, 1973

высоты и диаметра растений, густоты, сомкнутости полога.

3. Оценка мелиоративного состояния: конструкция лесополосы определялась глазомерно в облиственном состоянии. Лесомелиоративная оценка проводилась по интегральной 5-балльной шкале академика Е.С. Павловского³. Санитарное состояние деревьев оценивалось по 7-балльной шкале категорий состояния.

4. Оценка эрозионных процессов: для количественной оценки ветровой эрозии в зимний период проводилась снегомерная съемка с отбором проб на содержание мелкозема в различных слоях снежного шлейфа. Эродированность почвы (г / 5 мин) определялась в полевых условиях [14].

Лабораторно-аналитические и статистические методы

- Отбор почвенных образцов и проб мелкозема проводился согласно ГОСТ 17.4.3.01-83⁴.
- Почвозащитные фракции > 1 мм определяли методом сухого просеивания.
- Статистическая обработка данных выполнялась методами дисперсионного анализа (ANOVA⁵) с использованием пакета анализа AgCStat (настройка Microsoft Excel). Оценку достоверности различий между вариантами опыта проводили с расчетом наименьшей существенной разницы (НСР) на 5%-ном уровне значимости по методике Б.А. Доспехова⁶.

Территория исследований расположена в Приабаканском низкогорном степном почвенно-географическом районе, характеризующемся суммой активных температур выше 10 °С — 1807 °С, среднегодовым количеством осадков 332–382 мм и распространением черноземов, подверженных ветровой эрозии⁷.

Результаты и обсуждение /

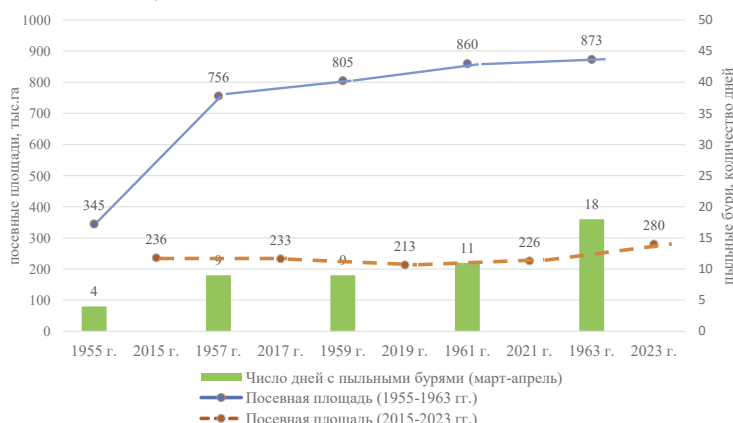
Results and discussion

Первое (1954–1960 гг.) массовое освоение целинных и залежных земель, включая легкосуглинистые почвы, вызвало вспышку ветровой эрозии.

Реформы в 90-е годы, переход к частной собственности, сложные социально-экономические условия коренным образом изменили отношение к земле. Экономически слабые фермерские хозяйства перестали ее обрабатывать.

Рис. 1. Темпы освоения целинных и залежных земель и деградация почв при первом (1955–1960 гг.) и повторном периодах (2010–2023 гг.) в степной зоне Республики Хакасия

Fig. 1. Rates of development of virgin and fallow lands and soil degradation during the first (1955–1960) and repeated (2010–2023) periods in the steppe zone of the Republic of Khakassia.



Повторное освоение залежи в период с 2010 по 2024 гг., в отличие от первоначального, осуществляется медленными темпами и небольшими объемами (рис. 1).

При повторном освоении залежи с учетом уроков прошлого легкосуглинистые сильнодефлированные почвы не распахиваются. В связи с этим ветровая эрозия проявляется локально, лишь на отдельных паровых участках.

Приабаканский низкогорный степной почвенно-географический район расположен в юго-западной части Республики Хакасия (Средняя Сибирь) и характеризуется сложными почвенно-климатическими условиями. Он включает возвышенные территории по правому и левому берегам реки Абакан и отличается от предгорно-степного района большей засушливостью, сложностью рельефа, низким плодородием, щебнистостью почв и подверженностью их совместной ветровой и водной эрозии [16].

Сумма активных температур выше 10 °С составляет 1807, атмосферных осадков — 332–382 мм в год. Продолжительность безморозного периода 108 дней. Господствующими почвами районов являются черноземы. Почвы легкого гранулометрического состава больше подвергаются ветровой эрозии.

Противодефляционная роль лесных полос отмечается не только в весенний засушливый, но и в зимний период (табл. 1, рис. 2).

Масса отложенного мелкозема в трех слоях сугроба по 10 см составила 2,03 кг/м². В первом слое (50–60 см) его отмечалось в 1,9 — 2,6 раза больше, чем во втором и третьем.

³Павловский Е.С. Устройство агролесомелиоративных насаждений. М.: Лесная промышленность, 1973. 128.

⁴ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб: межгос. стандарт: утв. и введ. в действие Постановлением Госстандарта СССР от 21.12.1983 № 6393; дата введения 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 4 с.

(Переизд.: авг. 2008 г.). Пакет программ AgCStat в виде надстройки Excel для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов.

⁵Пакет программ AgCStat в виде надстройки Excel для статистической оценки и анализа результатов полевых и лабораторных опытов. 1985.

⁶Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва. «КолосС», 1985.

⁷Градобоев Н.Д. Природные условия и почвенный покров левобережной части Минусинской впадины. Почвы Минусинской впадины. отв. ред. К.П. Горшенин. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 3–172. (Труды Южно-Енисейской комплексной экспедиции; вып. 3).

Таблица 1. Отложение мелкозема в сугробе снега в 5 метрах за полевую защитную лесную полосу, кг/м² (за зимний период 2023–2024 гг.)*

Table 1. Fine earth deposition in snowdrifts at 5 m downwind of a field-protective forest belt, kg/m² (winter season 2023–2024)*

Высота сугроба, см	Масса мелкозема	
	кг/м ² в слое 10 см	%
5–15	0,56	27,6
20–30	0,41	20,2
50–60	1,06	52,2
0–60	2,03	100,0
НСР ₀₅	0,53	

Примечание: *Высота сугроба за лесной полосой 65 см, ширина шлейфа — 8 м.

Таблица 2. Площадь эродированной пашни в Прибаканском низкогорном степном почвенно-географическом районе (1973 г.)⁸

Table 2. Area of eroded arable land in the Priabakan low-mountain steppe soil-geographic district (1973)⁸

Совхоз (бывший)	Вид эрозии	Площадь	Степень эродированности			Всего
			слабая	средняя	сильная	
Бейский	ветровая	тыс. га	7,9	0,6	0,8	9,5
		%	68,1	5,1	6,9	80,1
	совместная	тыс. га	0,4	–	–	0,4
		%	3,5	–	–	3,5
	водная	тыс. га	1,9	–	–	1,9
		%	16,4	–	–	16,4

На величину переноса мелкозема могли повлиять скорость ветра и другие факторы (агротехнический фон). С наветренной стороны лесной полосы в поле возделывались зерновые культуры, осенью почва (чернозем обыкновенный) была обработана дисковым, расстояние между лесными полосами — 300–350 м.

При первом массовом освоении новых земель применялась осенняя обработка почвы плугами на глубину 20–22 см, весенняя — лущильниками в зернопаровом севообороте чистый пар-яровая пшеница-ячмень (овес). Такое использование земель в низкогорном степном почвенно-географическом районе вызвало развитие дефляции и водной эрозии (табл. 2).

После освоения целинных и залежных земель в совхозе «Бейский» ветровой эрозии подвергалось 80,1% площади пашни, водной — 16,4%.

За длительный период (с 1969 по 1993 гг.) использования земель произошли значительные изменения в степени деградации почв (табл. 3).

В АО «Бейское» за 24 года использования пахотных земель площадь среднеэродированных почв увеличилась на 31,88 %, сильноэродированных уменьшалось на 8,40 %.

В настоящее время при значительном уменьшении площади пашни перенос мелкозема ветром проявляется при интенсивной обработке почвы в пару (табл. 4).

Рис. 2. Перенос и отложение мелкозема за полевую защитную лесную полосу в сугробе снега ООО «Бейское», 2024 г. Автор В.Н. Муртаев

Fig. 2. Fine soil particle transport and deposition in snowdrifts behind a shelterbelt, Beyskoye farm, 2024. Author V.N. Murtaev



Таблица 3. Влияние традиционной технологии использования земель на эрозионные процессы в АО «Бейское»²

Table 3. Impact of traditional land use technology on erosion processes at the Beiskoe agricultural enterprise²

Степень эрозии почв	1969 г.		1993 г.		Изменения (+, -)
	тыс. га	%	тыс. га	%	
Слабая	12,50	59,02	8,20	35,54	- 23,47 %
Средняя	1,30	6,14	8,77	38,01	+ 31,88 %
Сильная	7,38	34,84	6,10	26,44	- 8,40 %
Итого	21,18	100,0	23,07	100,0	

Таблица 4. Показатели эродированности почвы в полях севооборота, 2023 г.

Table 4. Soil erodibility indicators in fields under crop rotation, 2023

Предшественник	Фракции > 1 мм, %	Количество стерневых остатков, шт./м ²	Эродированность, г/5 мин
Пар чистый (4–5 обработок)	41,3	0,0	147,9
Пшеница (до обработки почвы)	58,5	203,8	32,4
Пшеница (после одной обработки дисковым)	56,9	104,4	46,8
НСР ₀₅	12,4		

Содержание почвозащитных фракций больше 1 мм при 4–5 обработках почвы по сравнению с одной уменьшается на 15,6%, эродированность повышается в 3,2 раза (выше допустимого предела).

На проявление дефляции большое влияние оказывают метеорологические условия. Так, ветро-эрозионные процессы, характерные для этих мест, в 2023 г. начали проявляться зимой. Они отмечались 9–15 и 26–28 января. Дефляционно-опасные условия наблюдались, несмотря на невысокую температуру воздуха — 1°С и значительное количество атмосферных осадков — 38,5 мм в апреле. Скорость порывов ветра 6–8 марта достигала 14–23 м/сек. Метеостанцией «Бея» весной зарегистрированы сильные ветры 5 дней. Пыльные бури локального характера отмечались

⁸ Генеральная схема противозерозионных мероприятий на Хакаскую автономную область Красноярского края. Красноярск: Восточно-Сибирский филиал института РосГИПРОЗЕМ, 1973

8, 9, 11 и 30 апреля. Это объясняется распылением почвы и заделкой стерневых остатков при многократной обработке почвы дискатором в открытых паровых полях.

В современных условиях при повторном освоении залежи (2024 г.) число дней с такими ветрами было 17, из них: в марте — 5 раз, в апреле — 8 раз, в мае — 4 раза. В низкогорном районе в условиях активного ветрового режима в осенне-зимний и весенний периоды за сплошным полем в кювете шоссе толщина мелкозема составила 2,6–5,2 см. За участком с лесным насаждением в комплексе с почвозащитной обработкой его переноса ветром почти не отмечалось (табл.5).

Земли, находящиеся под защитой первой системы ПЗЛП, в настоящее время используются в пастбищных целях. Травостой сильно стравлен, корневая система древесных растений подвергается неблагоприятному воздействию: уплотнению почвы от чрезмерной пастбищной нагрузки. Произошла массовая гибель тополя черного (*Populus nigra* L.) во втором ряду. Сохранность посадок очень низкая — 18,8%. Санитарное состояние из-за отмирания части скелетных ветвей сильно ослабленное или ослабленное. Несмотря на очень низкую сохранность, ПЗЛП удовлетворительно выполняли свои мелиорирующие функции, так как за счет широко раскидистых крон создавали довольно равномерную конструкцию — ажурно-продуваемую (рис. 3).

Вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.) во 2-й системе достигал максимальной высоты в данных лесорастительных условиях. Санитарное состояние *Populus nigra* оценивалось как здоровое, *Ulmus pumila* — как ослабленное или сильно ослабленное из-за наличия в кроне сухих ветвей. Несмотря на низкую сохранность посадок (28,8 %), ПЗЛП сформировали хорошие кроны с ажурной

Рис. 3. Агроресомелиоративный комплекс в АО «Бейское», 2025 г. Бейского района Республики Хакасия.

Автор Е.Я. Чебоचाков

Fig. 3. Agroforestry complex at JSC “Beiskoe”, Beysky district, Republic of Khakassia, 2025. Photo by E.Ya. Chebochakov



конструкцией (местами ажурно-плотной). В целом насаждения отлично выполняли свои мелиорирующие функции.

В третьей системе отсутствие лиственницы сибирской в рядах объяснялось антропогенным или пирогенным факторами. Всю мелиорирующую функцию выполнял вяз приземистый, его санитарное состояние было ослабленное или сильно ослабленное. Сохранность посадок очень низкая — 16,3%. Отмечена большая пастбищная нагрузка после уборки урожая с полей, наличие скотобойных троп в посадках. Внутри ПЗЛП, с наветренной (южной) стороны вокруг массивных стволов вяза приземистого в виде колец обнаружены задернованные наносы мелкозема высотой 9–10 см, с образованием шлейфа вглубь полосы на 20–25 см. Его, видимо, перенесло ветром в годы парования поля в межполосном пространстве после посадки деревьев в течение 40 лет. ПЗЛП выполняли свою противодефляционную роль, но за счет низкой сохранности и ослабленного состояния лесомелиоративная оценка в баллах была удовлетворительной.

Таблица 5. Оценка лесоводственных, мелиоративных показателей, санитарного состояния и сохранности полезащитных лесных полос в Приабаканском низкогорном степном почвенно-географическом районе Республики Хакасия, 2024 г.

Table 5. Assessment of silvicultural and meliorative indicators, sanitary condition, and preservation status of field-protective forest belts in the Priabakan low-mountain steppe soil-geographical district of the Republic of Khakassia, 2024

№ ПЗЛП	№ ряда	Порода	Высота деревьев, м	Санитарное состояние деревьев	Сохранность посадок, %	Конструкция лесополос	Лесомелиоративная оценка
1-я система ПЗЛП							
1	1	Т	9,5±0,8	сильно ослабленные	30	ажурно-продуваемая	3а
	2	Т	11,6±1,6	сильно ослабленные	5		
	3	Т	11,5±0,4	сильно ослабленные	10		
	4	Т	11,5±0,9	ослабленные	30		
2-я система ПЗЛП							
2	1	В	8,5±0,5	ослабленные	10	ажурная	4а
	2	6Т4В	9,6±1,4	ослабленные	35		
	3	9ВТ1	8,7±0,4	сильно ослабленные	45		
	4	В	10,0±0,7	ослабленные	25		
3-я система ПЗЛП							
3	1	В	10,3±0,9	ослабленные	40	ажурно-продуваемая	3а
	2	Л	2,5	–	единично встречающиеся лиственницы		
	3	Л	–	–	–		
	4	В	8,8±1,5	сильно ослабленные	25		

Таблица 6. Эффективность способов использования почв в XX в. и начале XXI в. в низкогорной степи Республики Хакасия

Table 6. Efficiency of soil use practices in the 20th and early 21st centuries in the low-mountain steppe of the Republic of Khakassia

Использование земли	После первого освоения земель (1960–1970 гг.)	В период повторного освоения залежи (2015–2025 гг.)
Использование сильнодефлированных почв в пашне	использовались	не используются
Основная обработка почвы	отвальная	минимальная
Срок основной обработки почвы	осенняя	осенняя, весенняя
Почвообрабатывающее орудие	плуг	дискатор
Полезавитные лесные полосы	отсутствовали	имеются
Применение гербицидов	слабое	умеренное
Проявление дефляции	сильное	слабое
Количество дней с пыльной бурей весной	18 (на всех полях)	локально (паровое поле)

Таблица 7. Урожайность зерновых культур АО «Бейское» и в Бейском районе, ц/га

Table 7. Yield of grain crops in joint stock company «Beyskoye» and in Beysky district, c/ha.

Год	АО «Бейское»			Бейский район		
	яровая пшеница	овёс	зерновые	яровая пшеница	овёс	зерновые
2021	22,5	25,0	23,7	24,7	23,4	24,0
2022	12,0	12,0	12,0	13,2	8,7	11,0
2023	19,4	22,4	20,9	22,1	20,4	21,2
2024	7,7	11,4	9,4	12,9	14,6	13,7
2025	24,3	20,8	22,7	25,0	21,2	23,1
Среднее	17,2	18,4	17,8	19,6	17,6	18,6

Освоенный в АО «Бейское» агролесомелиоративный комплекс (лесополоса и почвозащитная обработка в межполосном пространстве) позволяет значительно уменьшить ветроэрозионные процессы (табл. 6).

Лесная полоса уменьшает скорость воздушно-го потока и улавливает мелкозем, переносимый ветром.

Такой противоэрозионный комплекс позволяет сохранить плодородие почв и продуктивность сельскохозяйственных культур в степной зоне (табл. 7).

Яровая пшеница в среднем за 5 лет в АО «Бейское» дала зерна на 2,4 ц/га меньше, чем в Бейском районе, овс — на 0,8 ц/га больше.

В среднем за 2021–2025 гг. в акционерном обществе «Бейское», где освоено агролесомелиоративный комплекс, получено 17,8 ц/га зерна, в Бейском районе — 18,6.

Внедрение разработанных в последние годы технологий использования земель (почвозащитной обработки, полезавитных лесных полос) и организационно-хозяйственных мероприятий приостановили эрозионные процессы.

Усовершенствованная система использования земли в низкогорном степном почвенно-географическом районе позволяет стабилизировать сельскохозяйственное производство. Деградация почв агроландшафтов значительно уменьшилась.

Смена общественно-экономических формаций и переход к частной собственности коренным образом изменили использование земельных ресурсов.

В современных условиях малопродуктивные легкосуглинистые, сильнодефлированные, крутосклонные земли не обрабатываются, они

переведены в залежи и не подвергаются деградации.

Выводы/Conclusions

Массовое освоение целинных и залежных земель с применением традиционной технологии (вспашки почв на 20–22 см) в середине XX в. усилило эрозионные процессы в низкогорном степном районе Средней Сибири. Уже через 10–15 лет в совхозе «Бейский» дефляции подвергалось 80,1%, водной эрозии — 16,4%, совместной — 3,5% пашни.

В современных условиях при постепенном освоении слабдефлированных почв залежи с использованием разработанных технологий перенос мелкозема сильными ветрами отмечается локально (в паровых полях). Механические (4–5) обработки уменьшают содержание почвозащитных фракций размером больше 1 мм на 15,6% и повышают эродированность в 3,2 раза.

В обследованном районе две системы ПЗЛП имели низкую (3а балла) лесоводственно-мелиоративную оценку из-за очень низкой сохранности посадок (16,3–18,8%), ослабленного или сильно ослабленного состояния. Одна система имела хорошую лесоводственно-мелиоративную оценку (4а) за счет хорошо сформированных крон ажурной или ажурно-плотной конструкции.

Комплексное использование полезавитных лесных полос, агротехнических приемов, организационно-хозяйственных мероприятий, позволило повысить противоэрозионную устойчивость агроландшафтов и стабилизировать сельскохозяйственное производство в акционерном обществе «Бейское», расположенном в низкогорной степи Средней Сибири.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет средств Научно-исследовательского института аграрных проблем Хакасии — филиала ФИЦ КНЦ СО РАН

FUNDING

This research was funded by the Research institute of agricultural problems of Khakassia — a branch of the Federal research center Krasnoyarsk science center of the Siberian branch of the Russian academy of sciences.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейменов М.К. Оценка основных элементов почвозащитной системы земледелия в изменяющихся социально-экономических условиях. *Развитие идей почвозащитного земледелия в новых социально-экономических условиях. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ А.И. Бараева*. Шортанды: НПОЦХ им. А.И. Бараева. 2003; 8–17.
2. Кулик К.Н. (ред.). Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Республики Хакасия. Монография. Волгоград; Абакан: *ФНЦ агроэкологии РАН*. 2024; 252. ISBN 978-5-9631-1166-6 EDN BXEDES
3. Шамшурин Е.Н., Жидкин А.П. Изменения площади пашни, состава культур и темпов эрозии почв на Среднерусской возвышенности в постсоветский период. *Земледелие*. 2025; (8): 3–8. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2025-8-3-8>
4. Жидкин А.П., Комиссаров М.А., Шамшурин Е.Н., Мищенко А.В. Эрозия почв на Среднерусской возвышенности (обзор). *Почвоведение*. 2023; (2): 259–272. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22600901>
5. Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Кормопроизводство в сельском хозяйстве и сохранении плодородия почв. *Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия. VIII Сибирские Прянишниковские Агрохимические чтения. Материалы научно-производственной конференции с международным участием*. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2018; 78–84. EDN MIXFLF
6. Гамзиков Г.П. Система No-till в сибирском земледелии: проблемы, реальности и перспективы. *Земледелие*. 2024; (3): 10–17. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-3-10-17>
7. Шпедт А.А. История земледелия Сибири. Новосибирск: *СО РАН*. 2025; 251. ISBN 978-5-6052497-2-6 <https://doi.org/10.53954/9785605249726>
8. Кулинцев В.В. и др. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Монография. Ставрополь: *АГРУС*. 2013; 518. ISBN 978-5-9596-0924-5 EDN TBGYOZ
9. Скороходов В.Ю., Максютнов Н.А., Зоров А.А., Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Зенкова Н.А. Сохранение плодородия и защита почвы от эрозии в степной зоне Южного Урала. *Плодородие*. 2021; (6): 22–25. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.06>
10. Чебоचाков Е.Я., Шпедт А.А., Мартынова М.А., Иванов О.А., Капсаргин А.И., Муртаев В.Н. Деградация почв степных агроландшафтов Средней Сибири. *Аграрная наука*. 2025; (7): 114–121. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-114-121>
11. Грибачева О.В., Черская Н.А., Сотников Д.В. Видовое описание растительности полевых защитных лесных полос в хозяйстве УНПАК ЛНАУ «Колос». *Вестник аграрной науки*. 2023; (3): 46–54. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.3.46>
12. Таныукевич В.В., Рулев А.С., Бородачев В.В., Тюрин С.В., Хмелева Д.В., Кваша А.А. Продуктивность и природоохранная роль полевых защитных лесонасаждений *Robinia pseudoacacia* L. Прикубанской равнины. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2020; (6): 88–97. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-88-97>
13. Манаенков А.С., Подгаецкая П.М., Попов В.С. Влияние полевых защитных лесных полос на развитие яровой пшеницы в приопушечной зоне посевов. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2023; (4): 97–106. <https://doi.org/10.55959/msu0579-9414.5.78.4.9>
14. Шияты Е.И. Разработка параметров шероховатости для ветроустойчивости почвы. *Эффективность почвозащитной системы земледелия в Северном Казахстане. Сборник научных трудов ВНИИЗХ*. М. 1974; 66–81.

REFERENCES

1. Suleimenov M.K. Assessment of key elements of soil-conserving farming systems under changing socio-economic conditions. *Development of soil conservation agriculture ideas in new socio-economic conditions. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of academician A.I. Baraev*. Shortandy: Research Center for Grain Farming named after A.I. Baraev. 2003; 8–17 (in Russian).
2. Kulik K.N. (ed.). National action program to combat desertification of the Republic of Khakassia. Monograph. Volgograd; Abakan: *FSC of Agroecology RAS*. 2024; 252 (in Russian). ISBN 978-5-9631-1166-6 EDN BXEDES
3. Shamsurina E.N., Zhidkin A.P. Changes in the area of arable land, crop composition and soil erosion rates in the Central Russian Upland in the post-Soviet period. *Zemledelie*. 2025; (8): 3–8 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2025-8-3-8>
4. Zhidkin A.P., Komissarov M.A., Shamsurina E.N., Mishchenko A.V. Soil Erosion in the Central Russian Upland: A Review. *Eurasian Soil Science*. 2023; 56(2): 226–237. <https://doi.org/10.1134/S1064229322601743>
5. Kosolapov V.M., Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P. Forage production in agriculture and soil fertility conservation. *Soil Fertility and Assessment Productivity of Agriculture. VIII Siberian Pryanishnikovskiy Agrochemical reading. Materials of the scientific production conference with international participation*. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University. 2018; 78–84 (in Russian). EDN MIXFLF
6. Gamzikov G.P. The No-till system in Siberian agriculture: problems, realities and prospects. *Zemledelie*. 2024; (3): 10–17 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/004439132024310-17>
7. Shpedt A.A. History of agriculture in Siberia. Novosibirsk: *Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2025; 251 (in Russian). ISBN 978-5-6052497-2-6 <https://doi.org/10.53954/9785605249726>
8. Kulintsev V.V. et al. The system of agriculture of the new generation of the Stavropol Territory. Monograph. Stavropol: *AGRUS*. 2013; 518 (in Russian). ISBN 978-5-9596-0924-5 EDN TBGYOZ
9. Skorokhodov V.Yu., Maksyutov N.A., Zorov A.A., Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V., Zenkova N.A. Fertility preservation and protection of soil from erosion in the steppe zone of the Southern Urals. *Plodorodie*. 2021; (6): 22–25 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.06>
10. Chebochakov E.Ya., Shpedt A.A., Martynova M.A., Ivanov O.A., Kapsargin A.I., Murtaev V.N. Degradation of soils in the steppe agrolandscapes of Middle Siberia. *Agrarian science*. 2025; (7): 114–121 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-114-121>
11. Gribacheva O.V., Cherskaya N.A., Sotnikov D.V. Species description of vegetation of protective forest strips on the farm of UNPAK LNAU "Kolos". *Bulletin of agrarian science*. 2023; (3): 46–54. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.3.46>
12. Tanyukevich V.V., Rulev A.S., Borodichev V.V., Tyurin S.V., Khmeleva D.V., Kvasha A.A. Productivity and Environmental Role of Forest Shelterbelts of *Robinia pseudoacacia* L. of the Kuban Lowland. *Russian Forestry Journal*. 2020; (6): 88–97 (in Russian). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-88-97>
13. Manaenkov A.S., Podgaetskaya P.M., Popov V.S. Impact of forest shelter belts on the development of spring wheat in the near-edge zone of crops. *Lomonosov Geography Journal*. 2023; (4): 97–106 (in Russian). <https://doi.org/10.55959/msu0579-9414.5.78.4.9>
14. Shiyati E.I. Development of roughness parameters for soil wind resistance. *Efficiency of the soil-protective farming system in Northern Kazakhstan. Collected scientific papers of the All-Union Scientific Research Institute of Grain Farming*. Moscow. 1974; 66–81 (in Russian).

ОБ АВТОРАХ

Егор Яковлевич Чебоचाков

кандидат сельскохозяйственных наук
 echebochakov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9398-4197>

Марина Александровна Мартынова

кандидат биологических наук,
 старший научный сотрудник группы
 artemisiadracun61@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8739-1141>

Валерий Николаевич Муртаев

младший научный сотрудник
 valera.murtaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9474-3424>

Научно-исследовательский институт аграрных проблем
 Хакасии — филиал Федерального государственного
 бюджетного научного учреждения «Федеральный
 исследовательский центр «Красноярский научный центр
 Сибирского отделения Российской академии наук»,
 Садовая, д. 5, с. Зеленое, Усть-Абаканский район,
 Республика Хакасия, 655132, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Egor Yakovlevich Chebochakov

Candidate of agricultural sciences
 echebochakov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9398-4197>

Marina Alexandrovna Martynova

candidate of biological sciences,
 senior researcher
 artemisiadracun61@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8739-1141>

Valery Nikolaevich Murtaev

Junior researcher
 valera.murtaev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9474-3424>

Scientific research institute of agricultural problems of
 Khakassia — branch of the Federal state budget scientific
 institution «Federal research center 'Krasnoyarsk scientific
 center of the Siberian branch of the Russian academy of
 sciences»,
 5 Sadovaya st., village Zelenoe, Ust-Abakan district, Republic
 of Khakassia, 655132, Russia

ПРО ЯБЛОКО

ЗДЕСЬ ФОРМИРУЕТСЯ БУДУЩЕЕ
РОССИЙСКОГО САДОВОДСТВА

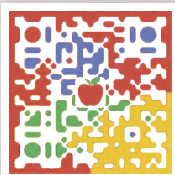
9-11 июня 2026

МВЦ «МинводыЭКСПО»

ОРГАНИЗАТОРЫ:



ПОДРОБНАЯ
ИНФОРМАЦИЯ
О ВЫСТАВКЕ >



УДК 630.25:581.5

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-95-103

Е.В. Калмыкова¹ ✉Н.А. Затонская²

¹Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

²Западно-Сибирская АГЛОС — филиал ФНЦ агроэкологии Российской академии наук, пос. Октябрьский, р-н Кулундинский, Алтайский край, Россия

✉ kalmukova-ev@vfanc.ru

Поступила в редакцию: 15.02.2025

Одобрена после рецензирования: 12.04.2026

Принята к публикации: 26.04.2026

© Калмыкова Е.В., Затонская Н.А.

Особенности роста листьев и сезонного развития древесных растений в условиях Кулундинской степи

РЕЗЮМЕ

На жизненный цикл листьев древесных растений существенное влияние оказывают лимитирующие факторы среды, что отражается на их продолжительности жизни и периодичности листопада. При этом продолжительность жизни листьев обусловлена генетически, формируется в течение года под влиянием эндогенных и экзогенных факторов.

Цель исследования — изучить особенности роста листьев и сезонного развития древесных растений в условиях Кулундинской степи. Исследования проводились на территории Кулундинского дендрария Западно-Сибирская АГЛОС — филиал ФНЦ агроэкологии РАН. Объектами является коллекция деревьев и кустарников данного дендрария. Были изучены продолжительность роста листьев, побегов, их относительная скорость роста, показатель «дружности» роста листьев в длину и ширину. Также проведена полевая оценка засухоустойчивости и зимостойкости древесных растений. Изучены сроки пожелтения листьев и их листопада. Коэффициент формы роста у первых развивающихся листьев верхних ярусов на текущем побеге больше, чем у листьев нижних ярусов. Отмечена более высокая скорость роста в фазу зеленения (апрель–май), быстро достигает максимума, затем в фазу полное облиствения скорость замедляется, к концу цветения рост листа прекращается (скорость равна нулю). За счет роста всей листовой пластины увеличение длины и ширины протекает равномерно, при этом рост листьев на текущих побегах в длину и ширину синхронный (коэффициент согласия Кенделла более 0,7 у всех изучаемых видов), но менее характерный, чем у листьев текущих побегов, что, по-видимому, связано с затуханием органобразующей деятельности конуса нарастания.

Ключевые слова: продолжительность жизни листьев, листопад, лимитирующие факторы, засухоустойчивость, зимостойкость

Для цитирования: Калмыкова Е.В., Затонская Н.А. Особенности роста листьев и сезонного развития древесных растений в условиях Кулундинской степи. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 95–103.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-95-103>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-95-103

Elena V. Kalmykova¹ ✉Nadezhda A. Zatonskaya²

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

²West Siberian AGLOS – branch of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, Oktyabrsky Settlement, Kulundinsky District, Altai Krai, Russia

✉ kalmukova-ev@vfanc.ru

Received by the editorial office: 15.02.2026

Accepted in revised: 12.04.2026

Accepted for publication: 26.04.2026

© Kalmykova E.V., Zatonskaya N.A.

Features of leaf growth and seasonal development of woody plants in the Kulunda steppe

ABSTRACT

The life cycle of woody leaves is significantly influenced by limiting environmental factors, which affects their lifespan and leaf fall cycle. Leaf lifespan is genetically determined and develops throughout the year under the influence of endogenous and exogenous factors.

The aim of this study was to investigate the characteristics of leaf growth and seasonal development of woody plants in the Kulunda steppe. The research was conducted at the Kulunda Arboretum of the West Siberian AGLOS, a branch of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences. The objects of study are the arboretum's collection of trees and shrubs. The duration of leaf and shoot growth, their relative growth rate, and the «friendliness» of leaf growth in length and width were studied. A field assessment of drought resistance and winter hardiness of woody plants was also conducted. The timing of leaf yellowing and leaf fall was studied. The growth form coefficient of the first developing leaves of the upper tiers on the current shoot is greater than that of leaves of the lower tiers. A higher growth rate is noted during the greening phase (April–May), quickly reaching a maximum. The rate then slows during the full leaf stage, and by the end of flowering, leaf growth ceases (the rate is zero). Due to the growth of the entire leaf blade, the increase in length and width occurs uniformly. Leaf growth on the current shoots in length and width is synchronous (Kendall's agreement coefficient is greater than 0.7 for all studied species), but is less characteristic than that of leaves on current shoots, which is apparently due to the attenuation of the organ-forming activity of the growing point.

Key words: leaf lifespan, leaf fall, limiting factors, drought resistance, winter hardiness

For citation: Kalmykova E.V., Zatonskaya N.A. Features of leaf growth and seasonal development of woody plants in the Kulunda steppe. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 95–103 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-95-103>

Введение/Introduction

Многие виды деревьев и кустарников подлежат исследованию и внедрению при проектировании зеленых насаждений [1, 2], однако имеющиеся возможности привлечения в озеленение наиболее ценных декоративных форм использованы не полностью.

Лимитирующие факторы среды оказывают существенное влияние на жизненный цикл листьев древесных растений, что отражается на продолжительности их жизни и периодичности листопада. При этом продолжительность жизни листьев обусловлена генетически, резкие и длительные воздействия могут нарушать физиологические функции растений, часто приводить к их гибели [3].

Существуют основные факторы влияния — это температурный режим (низкие температуры ускоряют старение листьев, высокие температуры сокращают срок жизни листа, резкие перепады температур провоцируют преждевременный листопад); влажность среды (дефицит влаги приводит к раннему опадению листьев, избыточная влажность вызывает гнивание и опадение, оптимальная влажность обеспечивает максимальную продолжительность жизни листа) [4, 5]; световые условия (недостаток света сокращает жизненный цикл листа, избыточное освещение ускоряет старение, неравномерное освещение влияет на ассиметричность листопада) [6, 7] и почвенные условия (бедные почвы сокращают продолжительность жизни листьев, засоление почвы провоцирует преждевременный листопад, нарушение водно-воздушного режима влияет на длительность вегетации) [8].

Периодичность листопада зависит от сезона года, климатической зоны, видовой принадлежности растения, состояния растения и экстремальных факторов среды [9].

Потенциал растения проявляется в способности адаптировать продолжительность жизни листа к условиям среды, регулировать сроки листопада, восстанавливаться после стрессовых воздействий и сохранять репродуктивную функцию при изменении условий.

При длительном воздействии лимитирующих факторов происходит сокращение средней продолжительности жизни листа, смещение сроков массового листопада, изменение интенсивности осеннего окрашивания и снижение общей биомассы листового аппарата.

Лист — это орган растения, представляющий собой индикатор, который реагирует на комплекс многообразных экологических факторов [9]. В связи с тем, что многолетние листья вечнозеленых растений в отличие от листопадных, имеют более длительный период жизни, при этом испытывают влияние смен климатических условий в течение нескольких лет своего существования. Все это позволяет использовать лист для изучения в качестве пластичного адаптивного маркера.

Установление связей между устойчивостью интродуцентов к неблагоприятным факторам среды и информативной адаптивностью морфо-анатомических и физиолого-биохимических признаков растений является основной предпосылкой прогнозирования успешности интродукции деревьев и кустарников [10].

Периодические и ритмичные явления жизнедеятельности растений различных популяций, в том числе листопадный образ жизни деревьев и кустарников, недостаточно изучены в контексте проявления закономерностей эволюции онтогенеза растений.

Цель исследования — изучить особенности роста листьев и сезонного развития древесных растений в условиях Кулундинской степи.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились на территории Кулундинского дендрария Западно-Сибирской агролесомелиоративной опытной станции — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Западно-Сибирская АГЛОС — филиал ФНЦ агроэкологии РАН). Объектами являлись деревья и кустарники данного дендрария.

Природные условия сухой зоны Алтайского края, в частности, Кулундинской степи, являются малоблагоприятными для роста и развития древесной растительности, в том числе листьев. Особенно влияют на развитие деревьев и кустарников почти постоянный дефицит влаги в почве, сухость атмосферного воздуха, сильные морозы в зимний период и поздние заморозки весной.

Гидрологический 2024–2025 год был на 2,2 °C теплее среднемноголетнего значения. Количество выпавших осадков меньше, чем средние многолетние значения на 39 мм. Холодный период был менее снежным — 95 мм при норме 114 мм. С начала вегетационного периода и за летние месяцы осадков выпало 188 мм при норме 190 мм. Средняя температура воздуха в летний период была в июне и июле выше нормы на 2,6 и 0,7 °C соответственно. Август был холоднее средней многолетней температуры на 1,0 °C. Минимальная температура в зимний период наблюдалась в январе (– 32,7 °C). Год был скудным на осадки и неблагоприятным, что сказалось на кустарниковой и древесной растительности. У деревьев наблюдалась потеря тургора, преждевременное пожелтение листьев и преждевременный листопад, как это бывает в жаркое и засушливое лето, так как в июле выпало 39 мм при среднемноголетнем количестве осадков — 60 мм.

Сезонное развитие представленных в коллекции растений изучалось методом фенологических

наблюдений¹ с 1978 г. по настоящее время. Отмечалось распускание почек, зеленение, полное облиствение, начало и конец цветения, характер цветения и плодоношения, созревание плодов, массовое изменение окраски и массовый листопад.

Для сравнительных исследований изучения особенностей роста листьев и сезонного развития древесных растений в 2025 г. были отобраны особо ценные в практическом отношении и наиболее многочисленные в коллекции Кулундинского дендрария: барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.), берёза плакучая (*Betula pendula* Roth.), ирга колосистая (*Amelanchier spicata* (Lam.) K. Koch.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.).²

Продолжительность жизни листа принимали с начала весеннего разворачивания листьев из почек до их пожелтения и опадения. В исследовании учитывался рост 20 листьев на каждом побеге (всего 5 побегов). Каждый лист помечали краской по мере его появления.

У каждого вида фиксировали изменения в процессе роста и развития побегов (два побега одревесневших и три побега текущего прироста), которые находятся в разных условиях:

– побег 1 (одревесневший) — самый верхний побег с южной стороны, он получает больше всего солнца и ветра;

– побег 2 (одревесневший) — побег находится в нижней части кроны, ближе к стволу, на него попадает меньше солнца, падает больше тени, он защищен от ветра;

– побег 3 (текущий прирост) — побег расположен в средней части кроны с восточной стороны, получает солнечные лучи утром (умеренные условия);

– побег 4 (текущий прирост) — побег находится в средней части кроны с западной стороны, солнце попадает на него после полудня;

– побег 5 (текущий прирост) — верхний побег с северной стороны, он получает минимум прямого солнца и открыт ветрам.

В течение всего года проводились наблюдения по выявлению различий сезонного ритма развития интродуцентов через каждые 5 дней, а во время активной вегетации, цветения и плодоношения — 1–3 дня.

Для анализа первичных измерений роста листа были использованы числовые показатели³:

1. Период (продолжительность) роста (Т) (1):

$$T = t_2 - t_1, \quad (1)$$

где t_2 — срок окончания роста, t_1 — срок начала роста;

2. Относительная скорость роста (V) (2)⁴:

$$v = \left(\frac{L_2 - L_1}{L_1(t_2 - t_1)} \right) \times 100\%, \quad (2)$$

где L_1 , L_2 — длина или ширина на конкретный период исследования, t_1 и t_2 — начало и конец периода роста. Для каждого вида отмечали максимальную скорость роста $V_{\max}$ и соответствующий ей срок $t_{\max}$.

3. средний по листу коэффициент формы роста (пересчетный коэффициент) (4):

$$K = \frac{\sum_{j=1}^{K_j} K_j}{20}, \quad (4)$$

Коэффициент формы роста (К) равен отношению площади листа со сторонами максимальной длины и ширины во времени на площадь прямоугольника соответствующего ему прямоугольника. Данный метод позволяет проводить измерения в динамике формирования листовой пластины в течение вегетационного периода без отделения листа от растения.

Для листьев каждого яруса на всех отобранных для измерений побегах отмечался также показатель «дружности» роста листьев в ширину и длину: W — коэффициент согласия Кендалла. Данный коэффициент позволяет выявить закономерность в динамике прироста листовой пластины от времени для всех листьев от 0 при полном отсутствии закономерности в динамике прироста до 1, если зависимость относительно прироста от времени (Т) для всех листьев одинакова: $W \approx 0$ — неупорядоченный рост всех листьев на побеге, согласия нет; $0,3 \leq W \leq 0,5$ — умеренная «дружность» роста листьев, умеренное согласие; $W \geq 0,7$ — синхронный рост всех листьев на побеге, полное согласие⁵.

¹ Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / Совет ботанических садов СССР. — М.: ГБС АН СССР, 1975. 28 с.

² Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624023 Российская Федерация. Биоресурсная дендрологическая коллекция «Кулундинский дендрарий» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Феномониторинг 1978–2022 гг.): № 2023623740: заявл. 07.11.2023; опубл. 16.11.2023 / А. И. Беляев, В. В. Вишнякова, А. А. Долгих [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук». EDN: UWJWMTM.

³ Куликов Г.В. Вечнозеленые лиственные деревья и кустарники // Труды Никит. бот. сада. — 1971. — № 50. — С. 4–86.

⁴ Коробко, В. В. Физиология растений. Большой практикум: Учебное пособие для студентов биологического факультета / В. В. Коробко, М. Ю. Касаткин. — Саратов: Издательство "Саратовский источник", 2017. — 120 с.

⁵ Кендалл М. Г., Смит Б. Б. Проблема т ранжирований // Анналы математической статистики. — 1939. — Т. 10. — №. 3. — С. 275–287.

Полевая оценка зимостойкости древесных растений при их интродукционном испытании проводилась по 7-бальной шкале оценки зимостойкости Главного ботанического сада (ГБС)⁶, которая основана на степени обмерзания растений. Деревья, имеющие баллы 6–7, считаются зимостойкими, 5 — среднезимостойкими, с баллом 4 — слабозимостойкими и 1–2 — не зимостойкими. При наблюдении зимних повреждений древесных растений обращали внимание на цвет древесины и коры поврежденных побегов. Считалось, что при побурении и потемнении древесины и коры побег поврежден низкими температурами, а при их отсутствии побег погиб от зимнего иссушения при низких температурах.

Полевая оценка засухоустойчивости проводилась по 5-й-бальной шкале, разработанная А.Я. Огородниковым⁷:

Статистическую обработку полученных данных выполняли по методике Зайцева Г.Н. (1984)⁸ с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Была проведена полевая оценка засухоустойчивости и зимостойкости древесных растений (таблица 1). По данным инвентаризации и перезимовки 2024-2025 года наиболее устойчивыми оказались следующие виды: барбарис обыкновенный, береза плакучая (7 баллов); яблоня сибирская, ирга колосистая (6 баллов). От морозов пострадала черемуха обыкновенная (5 баллов), однако, за лето деревья восстановили свою крону.

Глубина залегания грунтовых вод в дендрарии большая (до 9 м), поэтому береза и яблоня в возрасте 40 лет начинают суховершинить. Наблюдалось преждевременное пожелтение листьев и потеря тургора, как это бывает в засушливое лето, у березы плакучей, черемухи обыкновенной и яблони сибирской (4 балла). У черемухи обыкновенной отмечался самый ранний листопад — с 25 августа.

Распускание вегетативных почек у большинства видов наблюдалось в середине апреля — первой

Таблица 1. Полевая оценка зимостойкости и засухоустойчивости древесных растений

Table 1. Field assessment of winter hardiness and drought resistance of woody plants

Название видов	Зимостойкость	Засухоустойчивость
	баллы	
Ирга колосистая	6	5
Барбарис обыкновенный	7	5
Береза плакучая	7	4
Черемуха обыкновенная	5	4
Яблоня сибирская	6	4

декаде мая (таблица 2). Это совпадает со средними многолетними данными. Зеленение или начало роста — конец апреля и первая декада мая. Это также, как и распускание, в основном соответствует средним многолетним данным. Полное облиствление деревьев и кустарников наблюдалось в основном во второй декаде мая. Отклонение от средней многолетней даты на неделю.

Начало цветения интродуцентов в этом году наблюдалось очень рано, начиная с середины апреля и до середины мая. Окончание цветения (в зависимости от вида) началось с конца апреля и (у некоторых видов) продолжалось до мая. Самое позднее окончание цветения было у *Berberis vulgaris* L. Созревание плодов началось с конца июня (*Amelanchier spicata* (Lam.) Dum.-Cours., *Padus racemosa* (Lam.) Gilib.) и закончилось в сентябре (*Berberis vulgaris* L.).

Изменение окраски листьев в 2025 году было явно выражено и наблюдалось в середине сентября. Листопад отмечался в первой декаде октября и ноября (*Berberis vulgaris* L.).

Продолжительность цветения составляла от 5 до 21 дня в зависимости от вида. Характер цветения в основном 4-5 баллов. Характер плодоношения от 0 до 3 баллов. Неблагоприятные погодные условия (очень жаркое лето) оказали соответствующее влияние на состояние интродуцентов.

Следует считать, что признак листопадности обусловлен генетически [11, 12].

Таблица 2. Ритм развития деревьев и кустарников, 2025 г.

Table 2. Rhythm of development of trees and shrubs, 2025

Название видов	Распускание почек	Зеленение	Полное облиствление	Цветение		Созревание плодов	Изменение окраски (масс.)	Листопад
				начало	конец			
Ирга колосистая	10.апр	25.апр	12.май	30.апр	07.май	23.июн	22.сен	06.окт
Берёза плакучая	11.апр	25.апр	14.май	18.апр	23.апр	—	22.сен	23.окт
Барбарис обыкновенный	11.апр	25.апр	12.май	12.май	19.май	03.сен	29.сен	01.ноя
Яблоня сибирская	11.апр	21.апр	12.май	07.май	14.май	13.авг	16.сен	08.окт
Черёмуха обыкновенная	08.апр	16.апр	13.май	28.апр	12.май	23.июн	17.сен	03.окт

⁶ Лапин П. И., Сиднева С. В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. — М.: ГБС АН СССР, 1973. — С. 7–67.

⁷ Огородников А. Я. Методика визуальной оценки биологических свойств древесных растений в населенных пунктах степной зоны // Интродукция растений. — Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1993. С. 50–58.

⁸ Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике — М. Наука, 1984. — 424 с.

Весь период жизни листьев растений (рост, зрелость, старение и опадение) находятся также в сфере влияния как эндогенных, так и экзогенных факторов. Эндогенные факторы, которые оказывают влияние на старение листа и продолжительность его жизни, можно считать условными потому, что внешние условия определяют нормальное физиолого-биохимическое состояние растительного организма [13,14].

Важно учитывать влияние естественных (почвенно-климатических и биоценологических: интенсивность и качество света, фотопериодизм) и патологических (болезни, вредители, химические элементы, радиация и др.) факторов, которые могут сокращать продолжительность жизни листа, регулярно влияя на темп его развития и старения [15-17].

Не существует единого мнения и четких критериев оценки растений по экологическим группам древесных растений по продолжительности роста, относительного покоя, новообразования и сбрасывания листьев [9, 18, 19]. Так как в различных климатических зонах преобладают те или иные факторы, которые определяют продолжительность жизни листа [17, 20].

Несмотря на то, что фаза разворачивания листьев у листопадных растений наступила примерно одинаково, фазы пожелтения и листопада отличались в зависимости от вида и положения побега на дереве.

Самые верхние побеги с южной стороны желтели первыми из-за максимальной солнечной и ветровой нагрузки. Первые листья начинали опадать сразу после пожелтения. У барбариса обыкновенного — с 15 по 23 сентября. У черемухи обыкновенной — с 25 августа по 04 сентября. У березы плакущей — с 15 по 23 сентября. У яблони сибирской — с 25 сентября по 06 октября. У ирги колосистой — с 05 по 15 сентября.

Побеги в нижней части кроны желтели одними из последних, т.к. находились в тени. Листопад начинался, когда верхние побеги были уже почти оголены. У барбариса обыкновенного — с 25 сентября по 06 октября. У черемухи обыкновенной — с 10 по 19 сентября. У березы плакущей — с 25 сентября по 07 октября. У яблони сибирской — с 06 по 14 октября. У ирги колосистой — с 19 сентября по 01 октября.

У побегов в средней части кроны с западной стороны пожелтение немного запаздывало по сравнению с побегами с восточной стороны. У березы плакущей — с 19 сентября по 02 октября (восточная сторона), с 22 сентября по 02 октября (западная сторона). У черемухи обыкновенной — с 01 по 11 сентября (восточная сторона), с 03 по 12 сентября (западная сторона). У яблони сибирской — с 30 сентября по 09 октября (восточная сторона), с 02 по 10 октября (западная сторона). У ирги колосистой — с 10 по

19 сентября (восточная сторона), с 12 по 22 сентября (западная сторона). У барбариса обыкновенного — с 18 сентября по 24 сентября (восточная сторона), с 19 сентября по 01 октября (западная сторона).

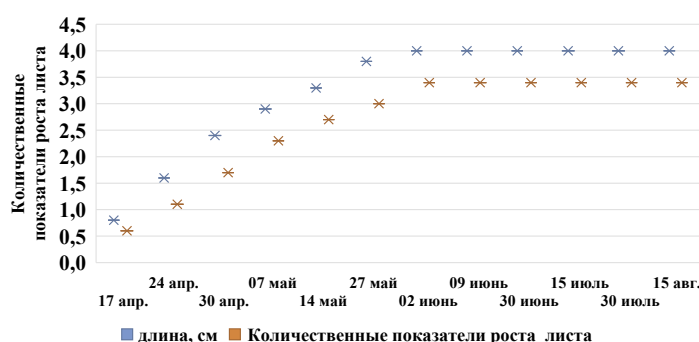
У верхних побегов с северной стороны ветер компенсировал недостаток солнца, запуская процесс пожелтения [19]. У барбариса обыкновенного — с 22 сентября по 02 октября. У черемухи обыкновенной — с 25 августа по 08 сентября. У березы плакущей — с 17 по 30 сентября. У яблони сибирской — с 29 сентября по 07 октября. У ирги колосистой — с 08 по 18 сентября.

Важно отметить, что изучаемые объекты мало отличаются периодом роста (рисунок 1). По срокам наступления разворачивания листьев и завершения их роста варьируют у видов, а степень этих отклонений зависит от конкретных погодных условий. На рисунке 1 для примера представлен рост листовой пластинки ирги колосистой, где наглядно видно, что весной скорость ее роста быстро достигает максимума, а затем приостанавливается, до наступления заключительного этапа развития листа и завершения жизненного цикла. Весь видимый период внепочечного развития листа (от начала разворачивания до отмирания) обычно считают периодом жизни листа растения, который состоит из ряда возрастных периодов: дифференциации и роста, зрелости, старения и смерти [3, 13, 20]. После завершения роста листа и его старения отмирание является естественной физиологической неизбежностью, особенно в экстремальных условиях произрастания.

У березы плакущей начало пожелтения листьев наступило в середине — конце сентября (15.09–30.09). Массовое пожелтение и листопад в первой — третьей декаде октября (01.10–24.10). Вегетационный период в 2025 г. составил 164 суток, что короче на 1 день среднего периода за последние 5 лет.

Яблоня сибирская более устойчива к ранним заморозкам. Весь период пожелтения и листопада был более сжатый и поздний (25.09–17.10), чем у березы плакущей. Листопад был более массовый по причине сильного ветра на всех побегах сразу. Начало пожелтения наблюдалось в конце сентября. Массовое пожелтение и листопад отмечался

Рис. 1. Рост листовой пластинки ирги колосистой
Fig. 1. Growth of the leaf blade of the spicate serviceberry



во второй половине октября (01.10–24.10). У яблони данный вегетационный период продлился на 2 дня средних значений и составил 158 суток.

Ирга колосистая рано начинает вегетацию и рано ее заканчивает (17.04–02.06 — период роста листа). Пожелтение наступило раньше, чем у березы и яблони. Листопад непродолжительный, листья опали дружно. Начало пожелтения отмечалось в начале — середине сентября. Массовое пожелтение и листопад наблюдали в конце сентября — первой половине октября, что на 4 дня раньше средней многолетней даты (вегетационный период — 165 суток).

Черемуха обыкновенная имеет фенологию, заметно отличающуюся от других видов. Она одна из первых начинает готовиться к зиме (11.09–08.10). Ее вегетационный период заканчивается рано. Листопад был очень быстрый и произошел после первых серьезных заморозков. Начало пожелтения наблюдалось в конце августа — начале сентября. Массовое пожелтение отмечалось в середине сентября. Листопад был во второй половине сентября — начале октября. У черемухи отметились самое раннее пожелтение и листопад по сравнению с другими видами. Весь процесс происходил на 2–3 недели раньше, чем у березы. Период пожелтения занял не больше недели, но период вегетации продлился на 2 дня относительно средней многолетней даты — 162 дня.

У барбариса обыкновенного, напротив, основная фаза листопада происходила позже, чем у

черемухи и ирги, была сильно растянута во времени (06.10–05.11), вегетационный период в 2025 году также был длиннее на 5 дней — 171 сутки. Листья опадали постепенно (по одному) в течение длительного периода. Небольшие заморозки не провоцировали листопад. Он начался только после больших заморозков. Часть листьев осталась на кустарнике до весны. Начало пожелтения наблюдалось в середине сентября. Массовое пожелтение отмечалось в конце сентября и первой половине октября. Листопад был в октябре.

Была изучена динамика роста средней длины побегов (текущий прирост) в зависимости от температуры и осадков в течение вегетационного периода (рисунок 2). Линейный рост побегов заканчивался в первой-второй декадах июля посредством внутренних регуляторных механизмов на дефицит почвенной и воздушной влаги.

Представлены линейные аппроксимации зависимостей прироста побега от средней температуры и суммы осадков за период роста. Установлена умеренная связь между признаками ($R^2 = 0,55–0,57$) у всех изучаемых растений. Коэффициенты детерминации близки по своей величине и свидетельствуют о том, что длина побега зависит, как и от погодных условия, так и обусловлена генетическими особенностями растений.

Длина одревесневших побегов ирги колосистой 7,3 и 15,7 см, черемухи обыкновенной — 9,2 и 13,6 см, березы плакущей — 12,0 и 14,2 см, барбариса обыкновенного — 17,9 и 21,0 см, яблони

Рис. 2. Динамика роста длины побега (текущий прирост)

Fig. 2. Dynamics of shoot length growth (current growth)

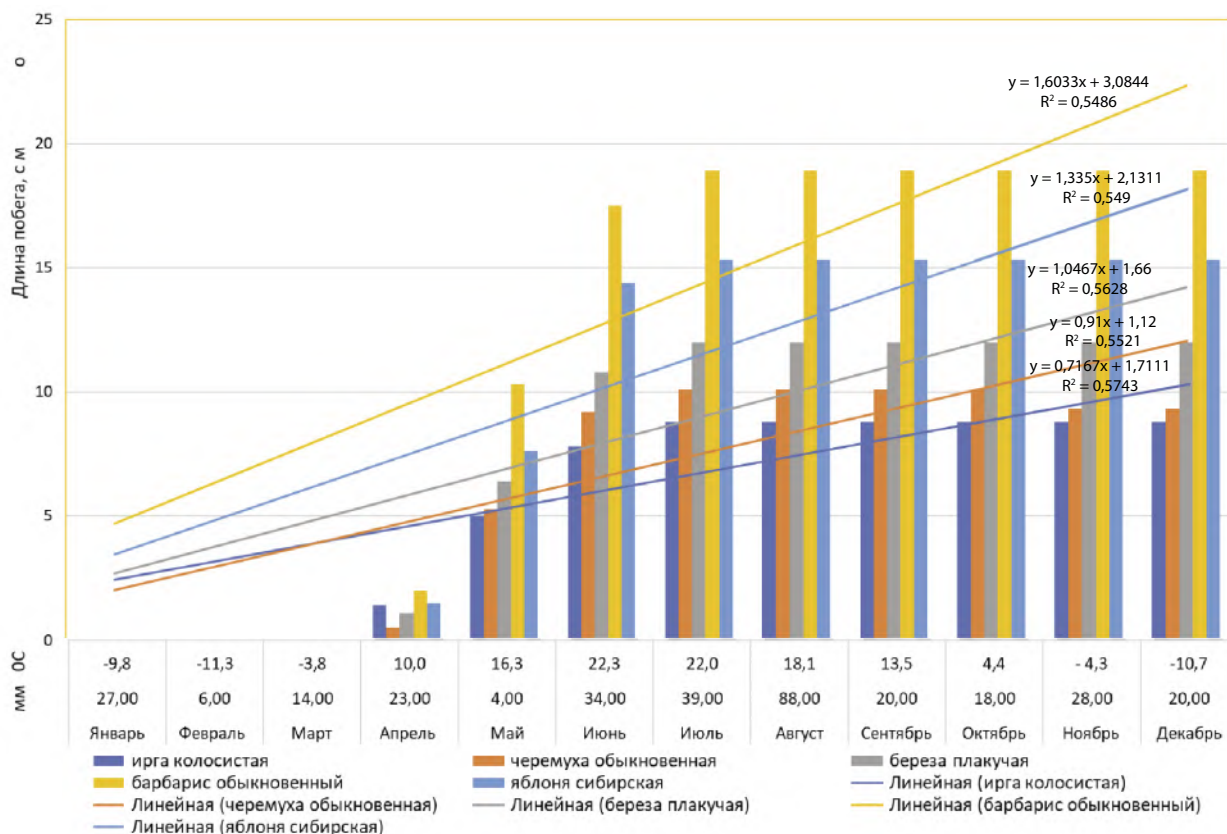


Таблица 2. Числовые показатели роста листа древесных растений

Table 2. Numerical indicators of leaf growth of woody plants

Наименование	№ побега	Длина побега, см	Длина				Ширина			
			K ± m	V	CV, %	W	K ± m	V	CV, %	W
Ирга колосистая	1*	15,7	2,70 ± 0,13	1,6	21,1	0,68	2,67 ± 0,14	1,6	23,0	0,76
	2*	7,3	2,63 ± 0,10	1,4	17,0	0,66	2,37 ± 0,09	1,6	15,6	0,75
	3**	7,9	2,90 ± 0,10	1,5	15,7	0,69	2,54 ± 0,12	1,7	20,3	0,78
	4**	8,8	3,00 ± 0,09	1,4	13,7	0,66	2,43 ± 0,09	1,8	16,8	0,82
	5**	9,7	2,89 ± 0,10	1,5	15,5	0,69	2,47 ± 0,08	1,8	14,7	0,81
Черемуха обыкновенная	1*	9,2	2,55 ± 0,08	1,7	14,5	0,78	2,48 ± 0,10	1,8	18,5	0,81
	2*	13,6	2,36 ± 0,08	1,8	14,7	0,85	2,35 ± 0,09	1,9	16,8	0,85
	3**	11,4	2,34 ± 0,07	1,9	12,7	0,85	2,27 ± 0,08	1,9	14,8	0,87
	4**	7,9	2,48 ± 0,11	1,7	18,7	0,80	2,43 ± 0,11	1,8	19,9	0,82
	5**	10,9	2,54 ± 0,10	1,7	16,6	0,78	2,46 ± 0,12	1,8	21,0	0,81
Береза плакучая	1*	12,0	2,32 ± 0,04	1,7	8,3	0,86	2,28 ± 0,03	1,8	7,8	0,92
	2*	14,2	2,31 ± 0,05	1,9	10,1	0,86	2,18 ± 0,04	2	7,3	0,88
	3**	10,0	2,28 ± 0,07	1,9	13,3	0,88	2,19 ± 0,09	1,9	17,5	0,92
	4**	16,4	2,34 ± 0,04	1,8	8,2	0,85	2,24 ± 0,05	1,9	9,4	0,89
	5**	9,6	2,28 ± 0,08	1,9	15,4	0,87	2,26 ± 0,11	2	20,8	0,87
Барбарис обыкновенный	1*	21,0	2,83 ± 0,16	1,5	24,9	0,70	2,76 ± 0,17	1,6	26,2	0,72
	2*	17,9	2,56 ± 0,14	1,7	24,2	0,78	2,59 ± 0,17	1,7	29,1	0,78
	3**	13,6	2,52 ± 0,21	1,7	36,0	0,80	2,69 ± 0,23	1,5	36,5	0,70
	4**	20,0	2,62 ± 0,17	1,6	28,1	0,73	2,58 ± 0,17	1,7	28,4	0,76
	5**	23,1	2,92 ± 0,19	1,4	27,9	0,65	2,65 ± 0,18	1,6	29,7	0,73
Яблоня сибирская	1*	9,0	2,73 ± 0,19	1,4	31,0	0,67	2,40 ± 0,13	1,7	24,0	0,79
	2*	10,3	2,90 ± 0,19	1,4	28,1	0,66	2,60 ± 0,14	1,6	22,8	0,76
	3**	16,4	2,72 ± 0,16	1,5	25,5	0,71	2,49 ± 0,11	1,6	20,2	0,79
	4**	13,8	2,49 ± 0,15	1,6	26,1	0,73	2,40 ± 0,11	1,7	21,0	0,79
	5**	15,6	2,58 ± 0,15	1,6	25,3	0,75	2,42 ± 0,10	1,7	18,9	0,82

Примечание: * — одревесневшие побеги; ** — текущий прирост; K ± m — коэффициент формы роста листа ± стандартная ошибка среднего арифметического; V — средняя относительная скорость роста листа в период вегетации; CV — коэффициент вариации; W — коэффициент согласия Кенделла

сибирской — 9,0 и 10,3 см, соответственно с южной стороны и с нижней части кроны, что объясняет большую длину побега с нижней части кроны, где на него попадает меньше света, он защищен от ветра (таблица 2).

Отмечена более высокая скорость роста в фазу зеленения (апрель-май), быстро достигает максимума, затем в фазу полное облиствения скорость замедляется, к концу цветения рост листа прекращается (скорость равна нулю). За счет роста всей листовой пластины увеличение длины и ширины протекает равномерно, при этом рост листьев на текущих побегах в длину и ширину синхронный (коэффициент согласия Кенделла более 0,7 у всех изучаемых видов), но менее характерный, чем у листьев текущих побегов, что, по-видимому, связано с затуханием органообразующей деятельности конуса нарастания. Видимый рост листа у деревьев и кустарников наблюдается до закладки верхушечных почек возобновления.

Коэффициент формы роста у первых развивающихся листьев верхних ярусов на текущем побеге больше (2,70 ± 0,13 и 2,67 ± 0,14 у ирги колосистой, 2,55 ± 0,08 и 2,48 ± 0,10 у черемухи

обыкновенной, 2,32 ± 0,04 и 2,28 ± 0,03 у березы плакучей, 2,83 ± 0,16 и 2,76 ± 0,17 у барбариса обыкновенного, соответственно длина и ширина), чем у листьев нижних ярусов (2,63 ± 0,10 и 2,37 ± 0,09 у ирги колосистой, 2,36 ± 0,08 и 2,35 ± 0,09 у черемухи обыкновенной, 2,31 ± 0,05 и 2,18 ± 0,04 у березы плакучей, 2,56 ± 0,14 и 2,59 ± 0,17 у барбариса обыкновенного, соответственно длина и ширина). Однако, данная закономерность не выявлена у яблони сибирской — 2,73 ± 0,19 и 2,40 ± 0,13 на верхнем побеге с южной стороны, 2,90 ± 0,19 и 2,60 ± 0,14 на побеге с нижней части кроны, соответственно длина и ширина).

Верхние листья развиваются в условиях внешней и внутренней физиологической сухости и более интенсивного освещения, формируя ксероморфные структуры в соответствии с известной закономерностью В. Р. Заленского (1904 г.) [21]. Высокие относительные скорости роста листьев, но пониженные формы роста характерны для наиболее устойчивых изучаемых видов.

Таким образом, комплексные исследования позволяют изучить биологические и экологические

аспекты особенностей роста листьев и сезонного развития древесных растений.

Выводы/Conclusions

Выявлена закономерность, которая отражает скорость роста листовой пластины — более высокая в фазу зеленения (апрель-май), быстро достигает максимума, затем в фазу полное облиствения скорость замедляется, к концу цветения рост листа прекращается (скорость равна нулю). Отмечено, что фаза разворачивания листьев у листопадных растений наступила примерно одинаково, фазы пожелтения и листопада отличались в зависимости от вида и положения побега на дереве.

В результате полевой оценки засухоустойчивости и зимостойкости древесных растений выявлено, что наиболее устойчивыми к условиям зимнего периода оказались следующие виды: барбарис обыкновенный, береза плакучая (7 баллов), яблоня сибирская, ирга колосистая (6 баллов). От морозов пострадала черемуха обыкновенная (5 баллов), однако, за лето деревья восстановили свою крону. Наблюдалось преждевременное

пожелтение листьев и потеря тургора, как это бывает в засушливое лето, у березы плакучей, черемухи обыкновенной и яблони сибирской (4 балла). У черемухи обыкновенной отмечался самый ранний листопад — с 25 августа.

Представлены линейные аппроксимации зависимостей прироста побега от средней температуры и суммы осадков за период роста. Установлена умеренная связь между признаками ($R^2 = 0,55-0,57$) у всех изучаемых растений. Коэффициенты детерминации близки по своей величине и свидетельствуют о том, что длина побега зависит, как и от погодных условия, так и обусловлена генетическими особенностями растений.

Период жизни листа растений: дифференциации и роста, зрелости, старения и смерти — как результат работы генетических данных их роста и развития и как процесс возрастных функциональных и биохимических изменений, приводящий к отмиранию ассимиляционного аппарата, определяет эндогенную биологическую сущность листопадности растений, что позволяет говорить о адаптационном потенциале изучаемых древесных растений.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено Государственному заданию №FNFE-2025-0011 «Научные основы комплексного исследования биоразнообразия и оценка ресурсного потенциала, совершенствования и развития методов мониторинга, сохранения, восстановления и отбора хозяйственно ценных древесных и кустарниковых растений в условиях комбинированного действия антропогенных и природных факторов для внедрения в лесомелиоративные комплексы аридных территорий»

FUNDING:

The study was carried out in accordance with State Order No. FNFE-2025-0011 «Scientific foundations for a comprehensive study of biodiversity and assessment of resource potential, improvement and development of methods for monitoring, conservation, restoration and selection of economically valuable trees and shrubs under conditions of combined action of anthropogenic and natural factors for introduction into forest reclamation complexes of arid territories.»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокопудова О.А., Артюхова А.В. Декоративные деревья и кустарники коллекции ВСТИСП. *Hortus Botanicus*. 2017; 12: 752–760. EDN YUTJKX
2. Vishnyakova V.V., Belyaev A.I., Kalmykova E.V. Assessment of Recreational Potential Dendrological Collections of the Federal Scientific Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2024; 58(4): 648–656. <https://doi.org/10.18805/IJAr.AF-830>
3. Алиев М.Г., Юсуфов А.Г. Старение листьев и факторы его регуляции. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2008; (2): 72–74. EDN IJVTGB
4. Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Долгих А.А., Семенютина В.А., Цой М.В. Анализ биоресурсных коллекций по климатическим ритмам и фенологическим процессам. *Успехи современного естествознания*. 2021; (2): 39–45. <https://doi.org/10.17513/use.37572>
5. Renner S.S., Zohner C.M. Climate Change and Phenological Mismatch in Trophic Interactions Among Plants, Insects, and Vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2018; 49: 165–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535>
6. Васфилов С.П. Влияние параметров фотосинтеза на продолжительность жизни листа. *Журнал общей биологии*. 2015; 76(3): 225–243. EDN UAFPZT
7. Miao Y. *et al.* The relationship between 35 woody plant species' spring phenology to their heights and stem tissue densities on a campus. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*. 2017; 23(5): 785–791 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.3724/SP.J.1145.2016.11020>

REFERENCES

1. Sorokopudova O.A., Artyukhova A.V. Ornamental trees and shrubs in ARHIBAN collection. *Hortus Botanicus*. 2017; 12: 752–760 (in Russian). EDN YUTJKX
2. Vishnyakova V.V., Belyaev A.I., Kalmykova E.V. Assessment of Recreational Potential Dendrological Collections of the Federal Scientific Centre of Agroecology of the Russian Academy of Sciences. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2024; 58(4): 648–656. <https://doi.org/10.18805/IJAr.AF-830>
3. Aliyev M.G., Yusufov A.G. Leaf senescence and factors of its regulation. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii Region. Natural Science*. 2008; (2): 72–74 (in Russian). EDN IJVTGB
4. Semenyutina A.V., Huzhahmetova A.Sh., Dolgih A.A., Semenyutina V.A., Tsoy M.V. Analysis of bioresource collections by climatic rhythms and phenological processes. *Advances in current natural sciences*. 2021; (2): 39–45 (in Russian). <https://doi.org/10.17513/use.37572>
5. Renner S.S., Zohner C.M. Climate Change and Phenological Mismatch in Trophic Interactions Among Plants, Insects, and Vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2018; 49: 165–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535>
6. Vasfilov S.P. Influence of photosynthetic parameters on leaf longevity. *Journal of General Biology*. 2015; 76(3): 225–243 (in Russian). EDN UAFPZT
7. Miao Y. *et al.* The relationship between 35 woody plant species' spring phenology to their heights and stem tissue densities on a campus. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*. 2017; 23(5): 785–791 (in Chinese). <https://doi.org/10.3724/SP.J.1145.2016.11020>

8. Flynn D.F.B., Wolkovich E.M. Temperature and photoperiod drive spring phenology across all species in a temperate forest community. *New Phytologist*. 2018; 219(4): 1353–1362. <https://doi.org/10.1111/nph.15232>
9. Иванова Л.А. Адаптивные признаки структуры листа растений разных экологических групп. *Экология*. 2014; (2): 109–118. <https://doi.org/10.7868/S0367059714020024>
10. Анатов Д.М., Асадулаев З.М., Рамазанова З.Р., Османов Р.М. Особенности анатомического строения листьев в зависимости от высотного произрастания абрикоса в Дагестане. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023; 184(2): 176–189 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-176-189>
11. Gan S., Amasino R.M. Making Sense of Senescence (Molecular Genetic Regulation and Manipulation of Leaf Senescence). *Plant Physiology*. 1997; 113(2): 313–319. <https://doi.org/10.1104/pp.113.2.313>
12. Широкова Н.П., Рябова М.С. Взаимосвязь фенологии и биологии некоторых видов древесных растений средней полосы России. *Молодой ученый*. 2014; (21-1): 260–263. EDN TCVEGH
13. Серебряков О.В., Яковенко Н.В. Влияние современных климатических тенденций на фенологию древесных пород: последствия для устойчивого лесовосстановления в Центральном Черноземье. *Научно-агрономический журнал*. 2025; (4): 5–17. EDN UVPWXC
14. Залывская О.С., Бабич Н.А., Александрова Ю.В. Динамика развития фенофаз дендроинтродуцентов в широтном направлении. *Хвойные бореальной зоны*. 2025; 43(5): 65–70. EDN IPLUEH
15. Рамазанова З.Р., Асадулаев З.М., Омарова П.К. Адаптивные морфолого-анатомические особенности листьев тиса ягодного в условиях Предгорного Дагестана. *Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки*. 2016; 10(2): 56–63. EDN WXOVMH
16. Сунгурова Н.Р., Солтани Г.А., Страздаускене С.Р. Особенности фенологии древесных видов на северном и южном пределе их ареалов в условиях интродукционного стресса. *Лесной вестник*. 2023; 27(2): 49–58. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-2-49-58>
17. Алиев М.Г., Алиева М.Г. Старение листьев растений как экологическое явление. *Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН*. 2015; 65: 147–150. EDN VBQPPQ
18. Поспелова О.А., Ткаченко Я.Д. Влияние антропогенной нагрузки на сроки прохождения фенологических фаз и морфометрические показатели листьев древесных растений. *Вестник АПК Ставрополя*. 2012; (2): 90–92. EDN PBRZZV
19. Алиев М.Г. Старение интактных листьев растений. *Global Science and Innovations: Central Asia*. 2021; 4(1): 139–144. EDN HERTEI
20. Мазуркин П.М., Кудряшова А.И. Закономерности динамики средней ширины листьев березы повислой около максимума роста в вегетационный период. *Успехи современного естествознания*. 2019; (11): 113–120. EDN XQRWEK
21. Кузнецова Т.А., Сорокопудов В.Н., Юшин Ю.В. Особенности адаптации растений *Padus racemosa* L. в различных климатических условиях. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2015; (3): 23–31. EDN VFZRGF
8. Flynn D.F.B., Wolkovich E.M. Temperature and photoperiod drive spring phenology across all species in a temperate forest community. *New Phytologist*. 2018; 219(4): 1353–1362. <https://doi.org/10.1111/nph.15232>
9. Ivanova L.A. Adaptive features of leaf structure in plants of different ecological groups. *Russian Journal of Ecology*. 2014; 45(2): 107–115. <https://doi.org/10.1134/S1067413614020027>
10. Anatov D.M., Asadulaev Z.M., Ramazanova Z.R., Osmanov R.M. Features of the anatomical structure of leaves depending on the high-altitude growth of apricot in Dagestan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023; 184(2): 176–189. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-176-189>
11. Gan S., Amasino R.M. Making Sense of Senescence (Molecular Genetic Regulation and Manipulation of Leaf Senescence). *Plant Physiology*. 1997; 113(2): 313–319. <https://doi.org/10.1104/pp.113.2.313>
12. Shirokova N.P., Ryabova M.S. Interrelationship between phenology and biology of some species of woody plants of central Russia. *Young Scientist*. 2014; (21-1): 260–263 (in Russian). EDN TCVEGH
13. Serebryakov O.V., Yakovenko N.V. The impact of modern climatic trends on the phenology of tree species: consequences for sustainable reforestation in the Central Black Soil Region. *Scientific agronomy journal*. 2025; (4): 5–17 (in Russian). EDN UVPWXC
14. Zalyvskaya O.S., Babich N.A., Aleksandrova Yu.V. Development dynamics of dendrointroduced phenophases in the latitudinal direction. *Conifers of the boreal area*. 2025; 43(5): 65–70 (in Russian). EDN IPLUEH
15. Ramazanova Z.R., Asadulaev Z.M., Omarova P.K. Adaptive Morphological and Anatomical Specifics of *Taxus baccata* Needles in Piedmont Dagestan. *Dagestan state pedagogical university journal. Natural and exact sciences*. 2016; 10(2): 56–63 (in Russian). EDN WXOVMH
16. Sungurova N.R., Soltani G.A., Strazdauskene S.R. Tree species phenology at northern and southern borders of their habitat under conditions of introduction stress. *Forestry Bulletin*. 2023; 27(2): 49–58 (in Russian). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-2-49-58>
17. Aliyev M.G., Aliyeva M.G. Senescence of plant leaves as an ecological phenomenon. *Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015; 65: 147–150 (in Russian). EDN VBQPPQ
18. Pospelova O.A., Tkachenko Ya.D. Influence of anthropogenic load on period of phenological phases and morphometric rates of leaf of ligneous plants. *Agricultural Bulletin of Stavropol region*. 2012; (2): 90–92 (in Russian). EDN PBRZZV
19. Aliyev M.G. Aging of intact plant leaves. *Global Science and Innovations: Central Asia*. 2021; 4(1): 139–144 (in Russian). EDN HERTEI
20. Mazurkin P.M., Kudryashova A.I. Regularities of the dynamics of the average width of the leaves of silver birch near the maximum growth in the vegetation period. *Advances in current natural sciences*. 2019; (11): 113–120 (in Russian). EDN XQRWEK
21. Kuznetsova T.A., Sorokopudov V.N., Yushin Yu.V. Features *Padus racemosa* L. plants adaptation in different climatic conditions. *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2015; (3): 23–31 (in Russian). EDN VFZRGF

ОБ АВТОРАХ

Елена Владимировна Калмыкова¹

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией
kalmukova-ev@vfanc.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>

Надежда Александровна Затонская²

директор
agloswnialmi@mail.ru

¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, пр. Университетский, д. 97, г. Волгоград, 400062, Россия

² Западно-Сибирская агролесомелиоративная опытная станция — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», ул. Лесная, д. 12а, п. Октябрьский, р-н Кулундинский, Алтайский край, 658921, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Elena Vladimirovna Kalmykova¹

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Head of Laboratory
kalmukova-ev@vfanc.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>

Nadezhda Aleksandrovna Zatonskaya²

Director
agloswnialmi@mail.ru

¹ Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 97 Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russia

² West Siberian Agroforestry Experimental Station — Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 12a Lesnaya st., Oktyabrsky village, Kulundinsky district, Altai Krai, 658921, Russia

Л.П. Кудрявцева

Федеральный научный центр
лужных культур, Тверь, Россия

✉ info.trk@fncl.ru

Поступила в редакцию: 04.02.2026

Одобрена после рецензирования: 12.04.2026

Принята к публикации: 26.04.2026

© Кудрявцева Л.П.

Сохранность и контроль за жизнеспособностью коллекционных биообразцов возбудителя антракноза льна

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Одна из ключевых задач по сбору и поддержанию коллекционных биообразцов возбудителей болезней льна заключается в сохранении исходных биологических свойств для проведения исследований в лабораторных и полевых условиях.

Методы. Объектом исследований служили штаммы возбудителя антракноза льна. Хранение биообразцов возбудителя антракноза в течение 9–12 месяцев, 5, 10 и 15 лет осуществляли в бытовом холодильнике, используя холодильную (температура +5...+8 °C) и морозильную камеру (температура -15...-20 °C), а также комнатные условия (+18...+24 °C). Субстратом для культуры служили сусло-агаровая питательная среда, льносолома и овес.

Результаты. Установлена корреляционная зависимость между жизнеспособностью биообразцов патогена и длительностью хранения в различных температурных режимах. Показано снижение агрессивности и жизнеспособности при хранении биообразцов в комнатных условиях, жизнеспособность остается высокой только в течение 5–8 месяцев, затем происходит изменение вирулентных и культурально-морфологических свойств. Выявлено, что хранить штаммы возбудителя антракноза в течение 5 лет с периодическим пересевом (9–12 месяцев) без потери вирулентности можно в холодильнике при температуре +5 ... +8 °C. Корреляция между количеством проросших спор и хранением в течении 10 лет, при температуре +5...+8 °C в бытовом холодильнике составила 0,81. Впервые установлена возможность длительного хранения биоматериала возбудителя без пересева и утраты вирулентности в морозильной камере при температуре -15...-20 °C в пробирках на сусло-агаровой питательной среде, зернах овса в течение 10 лет. Коэффициент корреляции между количеством проросших спор и хранением в течение 10 лет при низких отрицательных температурах составил 0,33.

Ключевые слова: лен, антракноз, биообразец, хранение, жизнеспособность, субкультивирование.

Для цитирования: Кудрявцева Л.П. Сохранность и контроль за жизнеспособностью коллекционных биообразцов возбудителя антракноза льна. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 104–109.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-104-109>

Lyudmila P. Kudryavtseva

Federal Scientific Center for Bast
Crops, Tver, Russia

✉ Marchenkodaniil.email@gmail.com

Received by the editorial office: 04.02.2026

Accepted in revised: 12.04.2026

Accepted for publication: 26.04.2026

© Kudryavtseva L.P.

Preservation and viability monitoring of collection biospecimens of the flax anthracnose pathogen

ABSTRACT

Relevance. One of the key tasks in collecting and maintaining collectible biological samples of flax pathogens is to preserve the original biological properties for various types of research, both in the laboratory and in the field.

Methods. The object of research was the strains of the anthracnose pathogen isolated from the affected flax cultivars. Biological samples of the anthracnose pathogen were stored for 9–12 months, 5, 10 and 15 years in a household refrigerator using a refrigerator (temperature +5 ... +8 °C) and a freezer (temperature -15...-20 °C), as well as room conditions (+18...+24 °C).

Results. A correlation has been established between the viability of biological samples of the pathogen and the duration of storage in various temperature conditions. A decrease in aggressiveness and viability was shown when storing biological samples in indoor conditions, viability remains high only for 5–8 months, then the virulent and cultural-morphological properties change. It was found that anthracnose pathogen strains can be stored for 5 years with periodic re-sowing (9–12 months) without loss of virulence, it can be stored in the refrigerator at a temperature of +5 ... +8 °C. The correlation between the number of germinated spores and storage for 10 years at a temperature of +5...+8 °C in a household refrigerator was 0.81. For the first time, the possibility of long-term storage of the pathogen biomaterial without re-sowing and loss of virulence in a freezer at a temperature of -15...-20 °C in test tubes on wort-agar nutrient medium, oat grains for 10 years has been established. The correlation coefficient between the number of germinated spores and storage for 10 years at low negative temperatures was 0.33.

Key words: flax, anthracnose, biological sample, storage, viability, subcultivation

For citation: Kudryavtseva L.P. Preservation and viability monitoring of collection biospecimens of the flax anthracnose pathogen. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 104–109 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-104-109>

Введение/Introduction

Одной из распространенных и вредоносных болезней льна-долгунца является антракноз [1–2]. При осуществлении контроля за болезнями льна-долгунца в комплексе мероприятий большая роль принадлежит созданию и внедрению в сельскохозяйственное производство более продуктивных, устойчивых к болезням сортов [3]. Основа создания селекционного устойчивого к патогенам материала — использование эффективных методов диагностики, когда в состав искусственной популяции включают все разнообразие культур возбудителя по свойствам вирулентности и агрессивности. Для этих целей в 90-х годах на базе рабочих коллекций была создана «Коллекция микроорганизмов — возбудителей основных болезней льна», насчитывающая в настоящее время более 1300 единиц хранения, в состав которой входят биообразцы возбудителя антракноза [4, 5]. Коллекция считается единственной в Российской Федерации и западной Европе, хотя в нашей стране во ВНИИ фитопатологии и ВИЗР создана Государственная коллекция фитопатогенных организмов-возбудителей многих болезней сельскохозяйственных культур. Возбудители болезней льна в ней отсутствуют [6]. Работа с возбудителями болезней включает в себя: установление видовой принадлежности, изучение их свойств при использовании в селекционном, фитопатологическом и генетическом направлении, поддержание биообразцов в рабочем состоянии, сохранение их ценных свойств [7–9].

В настоящее время известно два основных методических подхода к хранению биоматериала возбудителей болезней: краткосрочное и долгосрочное хранение [10–13]. Одним из первых методов хранения культур микроорганизмов, в том числе возбудителя антракноза, был метод периодических пересевов (субкультивирование). Он и сейчас широко применяется [5, 14].

Наиболее эффективными считаются методы долгосрочного хранения, такие как глубокое замораживание, или криоконсервация микроорганизмов (от -70°C до -190°C), и лиофильное высушивание (из замороженного состояния), иначе называемое высушивание из жидкого состояния [15–17]. Эти методы выполняются на дорогостоящем оборудовании.

В повседневной работе с микроорганизмами, требующей краткосрочного поддержания патогена в жизнеспособном состоянии, методы первой группы являются самыми простыми, доступными, они широко используются и оправданы. Но они трудоемки, занимают много времени, требуют

большого количества посуды, питательных сред, фиксируются погрешности технического характера и др.

Методы долгосрочного хранения (10–15 лет) биоматериала возбудителя антракноза льна при низких положительных ($+5...+8^{\circ}\text{C}$, ежегодный пересев на свежую питательную среду) и отрицательных температурах ($-15...-20^{\circ}\text{C}$) в бытовом холодильнике без пересева на свежую питательную среду не изучались. Так что этот вопрос актуален.

Цель исследования — провести сравнительный анализ хранения биообразцов возбудителя антракноза без потери жизнеспособности и вирулентности в различных температурных режимах и питательных средах.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Многолетние исследования (2010–2024 гг.) по сохранению биоматериала *Colletotrichum lini* Manns et Bolley в различных температурных режимах осуществляли в лабораторных условиях на базе лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Торжок, Тверская область, Россия). Все микологические исследования по выделению возбудителя и его культивирование проводили с помощью ламинарного бокса (Ламинар-С-1,8; Б_АВ_п, Россия), термостата (ТСО-1/80 СПУ, Россия), сушильного шкафа (ШС-80-02 СПУ, Россия). Для дезинфекции химической посуды, питательных сред и пр. использовали в работе стерилизатор паровой (СПВА-75-1-НН, Россия)¹. Объектом служили штаммы *Colletotrichum lini* Manns et Bolley из «Коллекции микроорганизмов-возбудителей основных болезней льна», выделенные в 2010 году в чистую культуру на сусло-агаровую питательную среду.

Использовали 2 штамма с сильной вирулентностью (419-5, 413-5) и менее агрессивный штамм П-97 из коллекции института.

Выделение возбудителя в чистую культуру, культивирование патогена и его идентификацию проводили по комплексу культурально-морфологических признаков в соответствии с систематикой^{2,3} и методикой^{4,5}, разработанными в Институте льна⁶.

Для совершенствования способов хранения штаммов возбудителя изучали различные условия хранения: комнатные условия ($+18^{\circ}\text{C}...+24^{\circ}\text{C}$), морозильная камера ($-15^{\circ}\text{C}...-20^{\circ}\text{C}$) и холодильная камера ($+5^{\circ}\text{C}...+8^{\circ}\text{C}$) бытового холодильника, а также различные питательные среды: льняная солома, овес, сусло-агар, 2%.

¹ ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями

² Пидопличко Н.М. Грибы паразиты культурных растений. Определитель. 1977. Киев: Наукова думка. 202 с.

³ Определитель болезней сельскохозяйственных культур. М.: Колос. 1984: 185–190.

⁴ Методические указания по фитопатологической оценке устойчивости льна-долгунца к болезням. Торжок. 2000. 52 с.

⁵ Методические рекомендации по созданию, поддержанию, хранению, и практическому использованию «Коллекции микроорганизмов — возбудителей болезней льна. Торжок. 2006. 12 с.

⁶ Всероссийский научно-исследовательский институт льна (Торжок, Россия)

Культурально-морфологические признаки (интенсивность спороношения, параметры размера спор, окраска колоний, вирулентность) штаммов описывали после культивирования чистой культуры на сусло-агаровой среде в течение 14 суток. Интенсивность спороношения биообразцов определяли с помощью камеры Горяева под микроскопом (МБИ-6, Россия) с объективом 10 × 0,30.

Подсчет концентрации спор в 1 мл проводили по формуле:

$$X = N \times 10^6 : 20,$$

где X — количество спор в 1 мл; N — сумма спор в пяти малых квадратах⁵.

Жизнеспособность инокулята патогена после длительного хранения (9–12 месяцев, 5, 10, 15 лет) определяли методом влажной камеры, по скорости и проценту проросших спор, повторность — 4–8-х кратная. Для более точного определения жизнеспособности спор использовали биологический метод — инокуляция суспензией спор всходов льна восприимчивого сорта Пенджаб и устойчивого сорта Леона. Плотность суспензии возбудителя антракноза составляла 200–300 тыс. спор/1 см³. Согласно методике, учет проводили на 8–9 сутки⁷. Для работы использовали климатическую камеру (BXG 2501, Китай).

Гербарный материал (пораженные антракнозом растения) до выделения возбудителя в чистую культуру хранили в комнатных условиях (+18...+24 °C) и в условиях холодильника (+5...+8 °C, в бумажных пакетах, чашках Петри (края изолировали скотчем) и в стаканчиках с притертыми крышками. Зараженные семена хранились в пробирках, бумажных пакетах и в небольших колбочках (100 мл) в комнатных условиях⁶.

Полученные экспериментальные данные анализировали методом статистической обработки, используя пакет программ Microsoft Office (Excel) 2010⁸ (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Коллекция образцов возбудителя антракноза насчитывает более 500 единиц хранения, они могут быть использованы в научных исследованиях.

В наших условиях штаммы возбудителя антракноза хранятся на косяках 2% сусло-агара в холодильнике (+5...+8 °C) с использованием метода периодических пересевов (9–12 месяцев). Этот способ достаточно трудоемок, не всегда гарантирует стабильное состояние вирулентности и других культурально-морфологических свойств культуры. Поэтому изучались различные способы хранения возбудителя в чистой культуре применительно к нашим условиям.

В процессе хранения штаммов возбудителя антракноза льна (419-5, 413-5, П-97 (1) на различных

субстратах (льняная солома, овес, сусло-агар) и в разных температурных режимах (комнатные условия, холодильная и морозильная камеры бытового холодильника) в течение 12 месяцев, анализируемые биообразцы не утрачивали свою жизнеспособность, показывали стабильность культурально-морфологических признаков и вирулентности. Непригодными для хранения даже в течение года оказались льняная солома с 2-мя объемами воды (комнатные условия (+18...+24 °C), холодильник (+5...+8 °C) и суспензия спор в стерильной воде (комнатные условия +18...+24 °C, холодильник +5...+8 °C). На данных средах происходило резкое снижение интенсивности спороношения и параметров размера спор (деградация) (1–2 споры в 1 см³). Хранение чистых культур патогена на льняной соломе, сусло-агаре, овсе в комнатных условиях в течение 1–1,5 года вызывало гибель возбудителя антракноза, жизнеспособность оставалась высокой только в течение 5–8 месяцев, затем происходило изменение вирулентных и культурально-морфологических свойств.

После 5-летнего срока хранения образцов чистой культуры также анализировали жизнеспособность патогена. Использование в качестве питательных сред сусло-агара 2% и овса в различных условиях хранения (морозильная камера -15...-20 °C, холодильная камера +5...+8 °C) способствовали сохранению жизнеспособности возбудителя антракноза льна (табл.1). Прорастание спор возбудителя наблюдали через 7 часов по 2 вариантам и на различных средах (сусло-агар, овес). Через 24 часа проросло 74,3–78,4% спор. Пятилетний срок хранения в различных условиях не оказал отрицательного влияния на вирулентность исследуемых штаммов. У всех биообразцов вирулентность была на уровне исходной (табл.1). Биообразцы 419-5, 413-5 соответствовали группе сильновирulentных штаммов, с высокой интенсивностью поражения всходов восприимчивого сорта на уровне 87,3–88,4%, а устойчивого сорта Леона на уровне 40,0–45,8%.

В результате реизоляции штаммов гриба на сусло-агаровую питательную среду после 10-летнего срока хранения в бытовом холодильнике (с ежегодным пересевом на свежую питательную среду) при температуре +5...+8 °C происходило снижение как интенсивности спороношения, параметров размера спор, так и вирулентных свойств (табл. 1, 2). Корреляция между количеством проросших спор и длительностью хранения при температуре +5...+8 °C в бытовом холодильнике составила 0,81. Аналогичные изменения в культурально-морфологических и вирулентных свойствах происходили при использовании автоклавированного овса в качестве питательного субстрата.

⁷ Кудрявцева Л.П. и др. Методы оценки и отбора исходного материала при селекции льна-долгунца на устойчивость к антракнозу. Методические рекомендации. Тверь. 2013. 52 с.

⁸ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки) 5-е изд. и доп. М.: Альянс. 2014. 351 с.

Таблица 1. Влияние условий хранения на жизнеспособность спор возбудителя антракноза льна

Table 1. Effect of storage conditions on the viability of spores of the flax anthracnose pathogen

№ штамма	Количество проросших спор, %	Вирулентность (интенсивность поражения всходов льна, %)		Окраска колонии биообразца
		Леона	Пенджаб	
Холодильная камера (+5...+8 °С), с периодическим пересевом, через 9–12 месяцев				
419-5	85,7	50,0	100	темно-серая
413-5	87,0	50,0	100	серая с оранжевыми секторами
П-97 (1)	86,8	10,2	58,4	Серая
Холодильная камера (+5...+8 °С), (с периодическим пересевом, через 9–12 месяцев), 5 лет				
419-5	78,4	45,8	88,4	темно-серая
413-5	77,5	40,0	87,3	серая с оранжевыми секторами
П-97 (1)	74,3	8,2	50,0	Серая
Коэффициент корреляции	0,31	0,29	0,29	
Холодильная камера (+5...+8 °С), с периодическим пересевом, через 9–12 месяцев), 10 лет				
419-5	28,6	0	25,0	темно-серая с белыми секторами
413-5	24,4	0	18,7	серая с оранжевыми секторами наличие белых секторов
П-97 (1)	2,4	0	1,4	Белая
Коэффициент корреляции	0,81	-	0,97	
Морозильная камера (-15...-20 °С) 10 лет, без пересева				
419-5	68,2	50,0	100	темно-серая
413-5	63,4	50,0	100	серая с оранжевыми секторами
П-97 (1)	60,0	7,9	50,2	Серая
Коэффициент корреляции	0,33	0,2	0,2	
Морозильная камера (-15...-20 °С), 15 лет, без пересева				
419-5	30,4	2,4	32,4	темно-серая с белыми секторами
413-5	28,8	2,0	22,6	серая с оранжевыми секторами; наличие белых секторов
П-97 (1)	3,0	0	2,4	Белая
Коэффициент корреляции	0,84	1,0	1,0	—

Таблица 2. Характеристика штаммов возбудителя антракноза после длительного хранения на сусло-агаровой среде

Table 2. Characteristics of strains of the causative agent of anthracnose after long-term storage on wort-agar medium

Штамм	Интенсивность спороношения, тыс./1 см ³ , ± S _p	Средняя длина спор, ± S _p
419-5	17,9 ± 3,0	16,9 ± 3,1
413-5	29,1 ± 9,7	14,9 ± 3,2
П-97 (1)	20,8 ± 12,1	17,1 ± 4,4

Ту же закономерность наблюдали и при заражении всходов льна суспензией спор патогена. С увеличением срока хранения степень развития болезни снижалась на устойчивом и на восприимчивом сорте. Сильновирulentные штаммы 419-5 и 413-5 из сильновирulentных перешли в слабо-вирulentную группу. Снижение вирулентности у сильновирulentных штаммов составило от 75,0% (419-5 штамм) до 81,3% (413-5 штамм). Менее агрессивный штамм П-97 (1) слабо поражал восприимчивый и не поражал устойчивый сорт. Снижение интенсивности поражения на восприимчивом сорте Пенджаб составило 98,6% в сравнении с 5-летним сроком хранения — 48,5% (табл. 1). Лучшие условия для сохранения жизнеспособности и вирулентности были созданы в морозильной камере (-15...-20 °С), что не сказалось на вирулентности. Проверка вирулентности в 2019 году на светоустановке показала, что вирулентные свойства не изменялись после 10-летнего срока

хранения. Коэффициент корреляции составил 0,2 на восприимчивом сорте. Спороношение этих штаммов остается обильным, хотя отмечается тенденция его снижения, как и параметров размера спор, окраска колоний при этом не изменялась (табл. 1, 2).

Коэффициент корреляции между количеством проросших спор и длительностью хранения при низких отрицательных температурах составил 0,33.

Неэффективным оказалось хранение чистых культур возбудителя в течение 15 лет в морозильной камере бытового холодильника при температуре -15...-20 °С. Происходило резкое снижение как жизнеспособности, так и интенсивности поражения всходов льна (табл. 1, 2). Наибольшее снижение показателя интенсивности спороношения отмечено у слабо-вирulentного штамма П-97 (1) — до 99,6% в 2024 году, в сравнении с 2019 — 20,3%. Изменялись и параметры спор всех штаммов при хранении в морозильной камере в течение 15 лет. Окраска колоний штаммов 419-5 и 413-5 почти не изменялась, однако в колонии появлялись секторы с белой окраской. У менее агрессивного штамма П-97 (1) происходило полностью изменение окраски колоний из однородной серой она становилась белой (белесой), что является характерным признаком слабого спороношения и деградации образца патогена.

Для дальнейшего использования штаммов необходимо проводить работу по восстановлению

вирулентных свойств путем пассирования патогена на живых проростках льна с последующей реизоляцией возбудителя и проверки культурально-морфологических и вирулентных свойств.

Гербарный материал (зараженные антракнозом семена) для выделения возбудителя в чистую культуру хорошо сохраняется в бумажных пакетах, пробирках и небольших колбах в комнатных условиях около 5 лет. Но зараженность семян снижается при этом на 45–69%. Хранить предварительно высушенный инфекционный материал возбудителя антракноза (пораженные всходы, льносолома) до выделения в чистую культуру можно в бумажных пакетах при комнатных условиях, но лучше в холодильнике (+5...+10 °C) в стаканчиках с притертыми крышками или в чашках Петри до 2-х лет.

При использовании традиционных способов поддержания микроорганизмов практически невозможно обеспечить одновременно сохранение каких-либо определенных свойств той или иной культуры в течение продолжительного времени. К методам, в большей степени гарантирующим жизнеспособность и генетическую стабильность микроорганизмов, относится низкотемпературная консервация.

В 2012 году в Ведомственную коллекцию полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения Россельхозакадемии ГНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии⁹ переданы на гарантийное хранение в автоматизированное хранилище 9 штаммов *Colletotrichum lini*, характеризующихся различной вирулентностью и культурально-морфологическими признаками.

Криоконсервация (параллельно при -80 °C и -150 °C) обеспечивает поддержание биообразцов в соответствии с международными стандартами.

Выводы/Conclusions

Сохранение и поддержание генотипических характеристик коллекционных биообразцов возбудителя антракноза льна из «Коллекции микроорганизмов-возбудителей основных болезней льна» является одной из ключевых задач для практической и научной работы с микроорганизмами. Выявлена корреляционная зависимость между жизнеспособностью биообразцов патогена и длительностью хранения в различных температурных режимах. Впервые установлена возможность длительного хранения биоматериала возбудителя без пересева и утраты вирулентности — в морозильной камере при температуре -15...-20 °C в пробирках на сусло-агаровой питательной среде, зернах овса в течение 10 лет. Значительные изменения культурально-морфологических свойств и интенсивности поражения всходов льна антракнозом при хранении в течение длительного времени были отмечены на авирулентном штамме (П-97 (1), в отличие от сильновирулентных штаммов (419-5, 413-5). При использовании биообразца в течение всего года, хранить штаммы возбудителя антракноза в течение 5 лет с периодическим пересевом (9–12 месяцев) без потери вирулентности можно в холодильнике при температуре +5...+8 °C. Выявлена низкая корреляционная зависимость между жизнеспособностью и хранением биообразцов в течение 5 лет в холодильной (+5...8 °C) и морозильной камерах бытового холодильника (-15...-20 °C) в течение 10 лет. Низкие положительные температуры оказались непригодными для сохранения патогена с периодическим пересевом (9–12 месяцев) в течение 10 лет, а также отрицательные температуры в морозильной камере (-15...-20 °C) бытового холодильника в течении 15 лет были неэффективны.

Более длительное хранение штаммов патогена возможно при использовании метода криоконсервации (параллельно при -80 °C и -150 °C).

⁹ В настоящее время — ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии» (Санкт-Петербург, Россия)

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2024-0005).

FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of the Federal State Budgetary Institution «Federal Research Center for Bast Crops» (topic No. FGSS-2024-0005).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Зотова В.С., Пролётова Н.В. Влияние культурального фильтрата штаммов возбудителя антракноза льна (*Colletotrichum lini* Manns et Bolley) на длину первичных корешков проростков семян льна. *Кормопроизводство*. 2024; (7): 9–15. EDN BHQZWC
- Novakovskiy R.O. *et al.* Data on genetic polymorphism of flax (*Linum usitatissimum* L.) pathogenic fungi of *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aureobasidium*, *Septoria*, and *Melampsora* genera. *Data in Brief*. 2020; 31: 105710. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105710>

REFERENCES

- Zotova V.S., Proletova N.V. Effect of the cultural filtrate of strains of the flax anthracnose pathogen (*Colletotrichum lini* Manns et Bolley) on the length of the primary roots of flax seed seedlings. *Kormoproizvodstvo*. 2024; (7): 9–15 (in Russian). EDN BHQZWC
- Novakovskiy R.O. *et al.* Data on genetic polymorphism of flax (*Linum usitatissimum* L.) pathogenic fungi of *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Aureobasidium*, *Septoria*, and *Melampsora* genera. *Data in Brief*. 2020; 31: 105710. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105710>

3. Кудрявцева Л.П. Устойчивость сортов — важный элемент интегрированной защиты льна-долгунца от болезней. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (11): 36–44. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-214-11-36-44>
4. Пролётова Н.В., Кудрявцева Л.П. Особенности роста и развития штаммов гриба — возбудителя антракноза льна (*Colletotrichum lini*) в условиях *in vitro*. *Аграрная наука*. 2025; (4): 137–144. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-137-144>
5. Кудрявцева Л.П. Значимость «Коллекции микроорганизмов — возбудителей болезней льна» в селекционной работе на устойчивость к фузариозному увяданию и ржавчине. *Аграрный вестник Урала*. 2025; 25(1): 2–9. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-2-9>
6. Дубовой В., Жемчужина Н., Елизарова С., Горелов П. Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов ВНИИФ. *Аналитика*. 2016; (1): 76–78. EDN VOSLVT
7. Похиленко В.Д., Баранов А.М., Детушев К.В. Методы длительного хранения коллекционных культур микроорганизмов и тенденции развития. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. *Медицинские науки*. 2009; (4): 99–121. EDN LAKPFX
8. Онищенко Г.Г., Кутырев В.В., Осин А.В. Коллекционная деятельность в области использования патогенных микроорганизмов в обеспечении биологической безопасности Российской Федерации. *Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение*. 2016; (1): 37–46. EDN VRETOT
9. Кучеренко И.В., Масежная Е.С., Дуганова А.Ю. Сохранение жизнеспособности и свойств коллекционных культур молочнокислых бактерий при длительном хранении. *Сыроделие и маслоделие*. 2023; (4): 92–97. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-13>
10. Кривушина А.А., Бобырева Т.В., Яковенко Т.В., Николаев Е.В. Методы хранения микроорганизмов-деструкторов в коллекции ФГУП «ВИАМ» (обзор). *Авиационные материалы и технологии*. 2019; (3): 89–94. EDN ZBFCWQ
11. Комиссаров Н.С., Дьяков М.Ю., Гарибова Л.В. Методы длительного хранения чистых культур макромицетов. *Микология и фитопатология*. 2023; 57(3): 155–171. <https://doi.org/10.31857/S0026364823030054>
12. Sakurai K. *et al.* Gene Mutations in *Ganoderma lucidum* During Long-Term Preservation by Repeated Subculturing. *Biopreservation and Biobanking*. 2019; 17(5): 395–400. <https://doi.org/10.1089/bio.2018.0149>
13. Утепешева А.А. Подбор методов длительного хранения коллекционных штаммов микромицетов и дрожжей. *ЭкоБиоТех*. 2019; 2(4): 494–498. <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-4-494-498>
14. Саукова С.Л., Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Ивебор М.В. Сохранение штаммов грибов из рода *Fusarium*, поражающих подсолнечник, в культуре на разных субстратах и температурных режимах. *Масличные культуры*. 2023; (1): 67–72. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-1-193-67-72>
15. Шмыленко В.А., Бондаренко А.П. Методические подходы к решению проблем сохранения прихотливых микроорганизмов. *Дальневосточный журнал инфекционной патологии*. 2018; 34: 78–82. EDN UTZCRW
16. Курилова Е.А., Лебедева А.Ю., Богун А.Г. Накопление мутаций в геномах микроорганизмов в процессе длительного хранения и культивирования. *Бактериология*. 2021; 6(4): 84–93. EDN HCBAQS
17. Важинская И.С., Купцов В.Н., Коломиец Э.И., Новик Г.И., Кантерова А.В. Криоконсервация как эффективный способ хранения фитопатогенных грибов. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук*. 2011; (4): 57–62. EDN ZRZSW

ОБ АВТОРЕ:

Людмила Платоновна Кудрявцева
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
info.trk@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский проспект, 17/56, Тверь, 172002, Россия

3. Kudryavtseva L.P. The stability of varieties is an important element of the integrated protection of flax from [diseases]. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (11): 36–44 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-214-11-36-44>
4. Proletova N.V., Kudryavtseva L.P. Peculiarities of growth and development of strains of the fungus — the causative agent of flax anthracnose (*Colletotrichum lini*) *in vitro*. *Agrarian science*. 2025; (4): 137–144 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-137-144>
5. Kudryavtseva L.P. The importance of the “Collection of microorganisms — pathogens of flax diseases” in breeding work for resistance to fusarium wilt and rust. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25(1): 2–9 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-2-9>
6. Dubovoy V., Zhemchuzhina N., Elizarova S., Gorelov P. State collection of phytopathogenic microorganisms from All-Russian Research Institute of Phytopathology. *Analitika*. 2016; (1): 76–78 (in Russian). EDN VOSLVT
7. Pokhilenko V.D., Baranov A.M., Detushev K.V. Methods of long-term storage of collection cultures of microorganisms and development trends. *University proceedings. Volga region. Medical sciences*. 2009; (4): 99–121 (in Russian). EDN LAKPFX
8. Onishchenko G.G., Kutyrev V.V., Osin A.V. Collection activities in the sphere of pathogenic microorganisms usage for the provision of biological safety in the Russian Federation. *Infectious Diseases: News, Opinions, Training*. 2016; (1): 37–46 (in Russian). EDN VRETOT
9. Kucherenko I.V., Masegnaya E.S., Duganova A.Y. Properties of Stock Cultures of Lactic Acid Bacteria during Long-Term Storage. *Cheese- and buttermaking*. 2023; (4): 92–97 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-13>
10. Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Yakovenko T.V., Nikolaev E.V. Methods of microorganisms-destructors storage in FSUE «VIAM» collection (review). *Aviation materials and technologies*. 2019; (3): 89–94 (in Russian). EDN ZBFCWQ
11. Komissarov N.S., Dyakov M.Y., Garibova L.V. Methods for Long-Term Storage of Pure Cultures of Macrofungi. *Mycology and Phytopathology*. 2023; 57(3): 155–171 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0026364823030054>
12. Sakurai K. *et al.* Gene Mutations in *Ganoderma lucidum* During Long-Term Preservation by Repeated Subculturing. *Biopreservation and Biobanking*. 2019; 17(5): 395–400. <https://doi.org/10.1089/bio.2018.0149>
13. Utepeshova A.A. Selection of methods for long storage of collection strains of micromycetes and yeast. *EcoBioTech*. 2019; 2(4): 494–498 (in Russian). <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-4-494-498>
14. Saukova S.L., Antonova T.S., Araslanova N.M., Ivebor M.V. Preserving of the aggressiveness of strains of fungi from a genus *Fusarium* infecting sunflower in a culture on the different substrates and temperature regimen. *Oil Crops*. 2023; (1): 67–72 (in Russian). <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-1-193-67-72>
15. Shmylenko V.A., Bondarenko A.P. Methodological approaches to the solution of the problem for preservation of fastidious microorganisms. *Far Eastern Journal of Infectious Pathology*. 2018; 34: 78–82 (in Russian). EDN UTZCRW
16. Kurilova E.A., Lebedeva A.Y., Bogun A.G. Accumulation of mutations in the genomes of microorganisms during long-term storage and cultivation. *Bacteriology*. 2021; 6(4): 84–93 (in Russian). EDN HCBAQS
17. Vazhynskaya I.S., Kuptsov V.N., Kolomiets E.I., Novik G.I., Kanterova A.V. Cryoconservation as an effective method of preserving phytopathogenic fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*. 2011; (4): 57–62 (in Russian). EDN ZRZSW

ABOUT THE AUTHOR:

Lyudmila Platonovna Kudryavtseva
Candidate of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
info.trk@fncl.ru

Federal Scientific Center of Bast Crops,
17/56 Komsomolskiy Prospect, Tver, 172002, Russia

О.Ю. Сорокина

Н.Н. Кузьменко ✉

В.И. Ильина

Федеральный научный центр
лубяных культур г. Тверь, Россия

✉ kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

Поступила в редакцию: 10.02.2026

Одобрена после рецензирования: 12.04.2026

Принята к публикации: 26.04.2026

© Сорокина О.Ю., Кузьменко Н.Н.,
Ильина В.И.

Olga Yu. Sorokina

Natalia N. Kuzmenko ✉

Vera I. Ilyina

Federal Research Center of Bast Fiber
Crops Tver, Russia

✉ kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

Received by the editorial office: 10.02.2026

Accepted in revised: 12.04.2026

Accepted for publication: 26.04.2026

© Sorokina O.Yu., Kuzmenko N.N., Ilyina V. I.

Элементы агротехнологии для новых сортов льна-долгунца в условиях Нечерноземной зоны

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Реализация биологического потенциала новых сортов льна-долгунца в производственных условиях возможна при правильном соблюдении разработанных элементов технологии возделывания. Ведущую роль среди элементов сортовой агротехники играют норма высева семян и ширина междурядья.

Методы. Использован широкий спектр полевых, статистических и аналитических методов.

Результаты. В условиях Центрального района Нечерноземной зоны на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с очень высоким содержанием фосфора и низким калия для нового сорта льна-долгунца Днепр 1 для получения двух видов льнопродукции оптимальной нормой высева была 16 млн шт./га с шириной междурядья 7,5 см, позволившей получить урожайность льноволокна 12,0 ц/га и льносемян 10,9 ц/га. Возделывание с нормой высева 12 млн шт./га позволило получить урожайность льносемян 10,2 ц/га. Увеличение нормы высева до 22 и 26 млн шт./га снизило семенную продуктивность на 38 и 45 % в сравнении с нормой высева 16 млн шт./га. Для селекционной линии льна-долгунца Р-256/02 изучение норм высева семян от 8 до 22 млн шт./га (с шагом 4 млн) и шириной междурядья 7,5 и 12 см показало, что меньшая ширина междурядья обеспечила лучшие условия для роста и развития льна, формирование растений с лучшими морфологическими показателями, более выровненный стеблестой за счет меньшего загущения в рядке. Возделывание льна с шириной междурядья 7,5 см при норме высева 12 и 22 млн шт./га в сравнении с шириной междурядья 12 см обеспечило достоверную прибавку урожайности льносоломой в разме-ре 11,1 и 19,8 ц/га (15,4 и 24,5%), льносемян – 4,1 и 2,9 ц/га (36,6 и 31,9%), соответ-ственно норме высева.

Ключевые слова: лен-долгунец (*Linum usitatissimum*), сорт, норма высева, ширина междурядья, урожайность

Для цитирования: Сорокина О.Ю., Кузьменко Н.Н., Ильина В.И. Элементы агротехно-логии для новых сортов льна-долгунца в условиях Нечерноземной зоны. *Аграрная нау-ка*. 2026; 406(05): 110–115.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-110-115>

Elements of agricultural technology for new varieties of flax in the conditions of the Non-Chernozem zone

ABSTRACT

Abstract. Relevance. Realization of biological potential of new varieties of flax in production conditions is possible with proper observance of the developed elements of cultivation technology. The leading role among the elements of varietal agricultural techniques is played by the seeding rate and the distance planting.

Methods. A wide range of field, statistical, and analytical methods were used.

Results. In the conditions of the Non-Chernozem zone on sod-podzolic medium loamy soil with a very high content of phosphorus and low potassium for the new variety of Dnepr 1 fiber flax-long for obtaining two types of flax products the optimal seeding rate was 16 million seeds per hectare with a row spacing of 7.5 cm, which allowed to obtain a yield of flax fiber 12.0 c/ha and flax seeds 10.9 c/ha. Cultivation with a seeding rate of 12 million seeds per hectare resulted in a yield of 10.2 c/ha. Increasing the seeding rate to 22 million and 26 million seeds per hectare reduced seed productivity by 38% and 45%, respectively, compared to a seeding rate of 16 million seeds per hectare. For the selection line of P-256/02 fiber flax, the study of seeding rates from 8 to 22 million seeds per hectare (with a step of 4 million) and distance planting 7.5 and 12 cm showed that a narrower distance planting provided better conditions for the growth and development of flax, resulting in plants with better morphological characteristics and a more uniform stand due to less density in the row. Cultivation of flax with a distance planting of 7.5 cm and a seeding rate of 12 and 22 million seeds per hectare, compared to a distance planting of 12 cm, resulted in a significant increase in the yield of flax straw by 11.1 and 19.8 c/ha (15.4 and 24.5%), and flax seeds by 4.1 and 2.9 c/ha (36.6 and 31.9%), respectively, depending on the seeding rate.

Key words: flax (*Linum usitatissimum*), variety, seeding rate, distance planting, yield

For citation: Sorokina O.Yu., Kuzmenko N.N., Ilyina V.I. Elements of agricultural technology for new varieties of flax in the conditions of the Non-Chernozem zone. *Agrarian science*. 2026; 406(05): 110–115 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-110-115>

Введение/Introduction

В повышении эффективности производства льнопродукции существенная роль принадлежит новым высокопродуктивным сортам, возделывание в производстве которых позволяет без дополнительных затрат увеличить урожайность льнопродукции на 25–30%. Но в производственных условиях из-за неблагоприятных погодных условий и несовершенства применяемой технологии возделывания потенциал сорта реализуется не полностью [1–5].

Сорта льна-долгунца отличаются разной отзывчивостью на уровень плодородия почвы, дозы и формы внесения удобрений, густоту стеблестоя, сроки сева, а также разной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, что требует разработки сортовой агротехники с целью получения максимально возможной урожайности для каждого сорта с учетом почвенно-климатических условий [3, 5, 6].

Создание оптимальной густоты стеблестоя льна, влияющей на регулирование урожайности волокнистой и семенной льнопродукции является одним из важных элементов агротехнологии возделывания новых сортов, позволяющей реализовать их потенциал [7, 8]. Важнейшим требованием при создании густоты стеблестоя является оптимальное распределение семян по площади, что определяется нормой высева и шириной междурядья.

Получить высокий урожай волокна хорошего качества можно при густоте стеблестоя к началу уборки 1600–1800 шт./м² нормально развитых, не полеглых растений. Для большинства современных сортов такое количество растений возможно получить в товарных посевах льна при нормах высева 20–24 млн всхожих семян на 1 га [1, 9, 10]. В семеноводческих посевах для получения максимального урожая семян применяют более низкие нормы высева, что способствует увеличению коэффициента размножения и урожайности семян¹.

В настоящее время посев льна-долгунца преимущественно проводят рядовым способом с шириной междурядья 7,5 см. Уменьшение ширины междурядий при рядовом способе посева до 4–6 см посева повышает урожайность льнопродукции на 20–25%. С увеличением ширины междурядья до 10–15 см наблюдается загущенность в рядах и недоразвитость значительной части стеблей, что приводит к потере урожая до 10–13%. В настоящее время в странах Западной Европы для посева льна используют посевные машины для рядового посева с шириной междурядья 12,5–15 см. В Беларуси и России используются посевные машины с междурядьями от 6,2 до 10 см [8, 11–13].

Для большинства сортов селекции ФНЦ Лубяных культур разработаны элементы сортовой агротехники [10, 14]. Для вновь созданных сортов льна-долгунца возникает необходимость изучения и разработки элементов агротехнологии.

Цель исследований — изучить элементы агротехнологии (норма высева, ширина междурядья) для новых сортов льна-долгунца с учетом их биологических особенностей.

Материалы и методы исследования /

Materials and methods

Исследования выполнены в Торжокском районе Тверской области Российской Федерации в полевых опытах ФНЦ Лубяных культур на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве в 2023–2025 гг.

Объектами исследований являлись новый сорт льна-долгунца Днепр 1 и селекционная линия Р-56-02.

Сорт льна-долгунца Днепр 1 среднеспелый, обладающий высокоэффективным геном устойчивости к фузариозному увяданию (*Fu 10*), отличается высокой волокнистостью 31,0% (максимальная 34,1%), высоким качеством — средний номер трепаного волокна 14,40 (максимальный 15,20).

Селекционная линия Р-256-02 характеризуется как среднеспелая с высоким уровнем устойчивости к полеганию и болезням — ржавчине (96,1%) и фузариозному увяданию (83,4%), высокорослая, высоковолокнистая до 36,7%, с высоким качеством трепаного волокна 11,90 (максимальный 13,60).

Почва характеризовалась высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора (214 — 283 мг/кг), низким калия (64 — 82 мг/кг) и низким гумуса (2,0%), реакция почвенного раствора рН_{ксл} составила 5,0–5,8. Определение рН солевой вытяжки из почвы проведено по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85)², содержание подвижных соединений фосфора и калия — по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011)³, содержание гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-2021)⁴.

Под Днепр 1 применяли азотно-фосфорно-калийное удобрение с бором состава N14:P23:K14:B1 в дозе 2 ц/га (АО «ФосАгро-Череповец», Россия). Посев льна осуществляли сеялкой СЛ-16 с шириной междурядья 7,5 см (ФНЦ ЛК, Тверь, Россия). Лен-долгунец высевали с нормами высева: 8, 12, 16, 22, 26 млн шт. всхожих семян на 1 га (40,0; 52,2; 77,6; 106,7; 126,1 кг/га).

Под посев селекционной линии Р-256-02 применяли азотфоску состава N16:P16:K16 в дозе 1,0 ц/га (АО «ФосАгро-Череповец», Россия) и органоминеральное удобрение «Льняное» марка 14 состава: 40% органическое вещество, 7% N, 5% P,

¹ Технология и организация производства высококачественной продукции льна-долгунца. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2004; 148 с. ISBN 5-7367-0504-4

² ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО.

³ ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

⁴ ГОСТ 26213-2021. Почвы. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.

10% K, 0,5% Mg, 3,2% S, 12,5% гуматы и микроэлементы в дозе 2 ц/га (ОАО «Буйский химический завод», Россия).

Лен-долгунец селекционной линии Р-256-02 высевали с нормами высева 8, 12, 16 и 22 млн шт. всхожих семян на 1 га (41,3; 52,2; 82,6; 113,6 кг/га). Посев льна в опыте осуществляли селекционной сеялкой СЛ-16 с анкерными сошниками и шириной междурядья 7,5 см и селекционной сеялкой «Клен-1,5» с дисковыми сошниками и шириной междурядья 12 см (ООО «Клен», Луганск, Россия) (табл. 1).

Исследования проводили в звене севооборота: многолетние травы пользования 2 года — лен. Обработка почвы состояла из зяблевой вспашки, ранневесенней культивации с боронованием агрегатом КБН-6-4П-Г1К-ВС (АО «ПК «Ярославич», Россия), внесения удобрений и заделки удобрений культивацией с боронованием. В фазу «елочка» проведена обработка от сорняков препаратами «Гербитокс Л» — 0,9 л/га (АО Фирма «Август», Россия), «Секатор Турбо» — 0,08 л/га («Байер КропСайенс АГ», Германия), «Хакер» — 90 г/га (АО Фирма «Август», Россия), «Миура» — 0,9 л/га (АО Фирма «Август», Россия).

Площадь опытной делянки — 25 м², повторность — четырехкратная. Фенологические наблюдения за ростом и развитием льна-долгунца проведены по методическим указаниям по проведению полевых опытов со льном-долгунцом⁵.

Урожайные данные обработаны методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову⁶, рассчитан коэффициент вариации для ряда показателей (CV, %).

Анализ метеорологических условий, сложившийся в 2023 и 2024 году показал, что в целом вегетационный период был засушливым: сумма осадков на 89 и 26 мм меньше среднемноголетнего показателя, дней с осадками > 1 мм меньше на 14 и 7, а сумма температур выше среднемноголетнего показателя на 351 и 358 градуса, гидротермический коэффициент (ГТК) 1,09 и 1,10, соответственно годам. Вегетационный период 2025 года в целом характеризовался как влажный. Гидротермический коэффициент (ГТК) за май–август составил 1,63, только в первой и второй декаде июля максимальная температура воздуха была 32 градуса, что сказалось на завязывании семян (рис. 1).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Наблюдения за ростом льна-долгунца сорта Днепр 1 показали, что с начальных фаз развития преимущество в линейном приросте было при норме высева 12 и 16 млн шт./га. Высота растений в фазе цветения была больше на

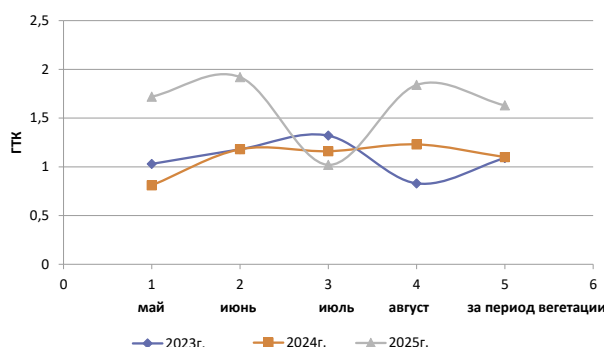
Таблица 1. Схема опыта для льна-долгунца селекционной линии Р-256-02

Table 1. Experimental design for the P-256-02 selection line of fiber flax

Вариант		Сеялка
Норма высева семян, млн шт./га	Ширина междурядья, см	
8	12	Клен-1,5
12	12	Клен-1,5
12	7,5	СЛ-16
16	12	Клен-1,5
22	12	Клен-1,5
22	7,5	СЛ-16

Рис. 1. Гидротермический коэффициент за вегетационные периоды 2023–2025 гг.

Fig. 1. Hydrothermal coefficient for the growing seasons of 2023–2025



2,1–4,1 см в сравнении с другими нормами высева. Наиболее высокорослые растения — 73,1 см и с большим диаметром стебля — 1,45 и 1,47 мм — были получены при норме высева 12 и 16 млн шт./га. Количество коробочек на одном растении — 8,8 и 8,3 шт. также было больше при норме высева 12 и 16 млн шт./га. Наибольшее количество семян в одной коробочке — 8,0 шт. сформировалось при меньшей норме высева 8 млн шт./га (табл. 2).

Для сорта Днепр 1 самая высокая урожайность льносоломой 41,1 ц/га, льноволокна 12,0 ц/га получена при норме высева 16 млн шт./га за счет наибольшей высоты и диаметра растений. При самой высокой норме высева 26 млн шт./га получена близкая урожайность с нормой 16 млн шт./га: льносоломой 39,3 ц/га, льноволокна 11,2 ц/га за счет большего количества растений на 1 м². Самая высокая урожайность льносемян — 10,2 и

Таблица 2. Структурные элементы урожайности льна сорта Днепр 1

Вариант	Общая высота, см	Техническая длина, см	Диаметр на 1/2 длины стебля, мм	Коробочек на 1 растении, шт.	Семян в 1 коробочке, шт.
8 млн шт./га	70,9	59,3	1,36	7,0	8,0
12 млн шт./га	73,1	59,6	1,45	8,8	7,8
16 млн шт./га	73,1	59,6	1,47	8,3	7,8
22 млн шт./га	67,8	57,1	1,28	5,9	6,8
26 млн шт./га	67,3	55,4	1,31	5,3	7,1

⁵ Методические указания по проведению полевых опытов со льном-долгунцом. Торжок. 1978; 72.

⁶ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

10,9 ц/га получена при норме высева 12 и 16 млн шт./га за счет большего количества коробочек на растении и семян в коробочке (табл. 3).

Наблюдения за ростом и развитием льна-долгунца селекционной линии Р-256-02 показало, что в начальные фазы («елочка» и быстрый рост) преимущество в линейном приросте было при норме высева 12 и 16 млн шт./га, высеянных с шириной междурядья 12 см. Во второй половине вегетации растения, высеянные с шириной междурядья 12 см, начали постепенно отставать в развитии. К фазе цветения более высокие растения льна — 87,4 и 81,7 см сформировались при норме высева 12 и 22 млн шт./га, высеянных через 7,5 см.

Густота стеблестоя соответствовала расчетной норме высева семян. В период полных всходов при норме высева 8 млн шт./га она составила 824 растения на 1 м², при 22 млн шт./га — 2184 растения на 1 м² в среднем. С увеличением нормы высева семян в 8 до 22 млн шт./га отмечается повышение коэффициента вариации (CV) густоты стеблестоя с 7,0 до 19,2% (табл. 4), что говорит об увеличении неравномерности густоты стеблестоя при большей норме высева. Наибольшее варьирование густоты стеблестоя отмечали при норме высева 22 млн шт./га и ширине междурядья 12 см.

Если густота стеблестоя при изменении ширины междурядья с 7,5 до 12 см в расчете на 1 м² была близкой, то при расчете на 1 погонный метр загущенность в рядке при ширине междурядья 12 см была в 1,9 раза больше, чем при ширине междурядья 7,5 см, как при норме высева 12, так и 22 млн шт./га.

Важным показателем при выращивании льна-долгунца, наряду с густотой стеблестоя, является выровненность стеблестоя по высоте, так как этот показатель оказывает влияние на качество волокнистой льнопродукции. Если рассматривать влияние нормы высева семян на выровненность растений по высоте, то наиболее выровненным стеблестоем — 95,6% отличались растения при норме высева 16 млн шт./га. При повышении нормы до 22 млн шт./га данный показатель снизился до 88,2%. С увеличением ширины междурядья с 7,5 до 12 см отмечалась четкая закономерность снижения выровненности стеблестоя на 3,9%.

Выращивание льна с шириной междурядья 7,5 см создавало лучшие условия для роста и развития льна, так как площадь питания имеет форму, приближенную к квадрату, что создает хорошие условия для развития корневой системы и способствует формированию большего урожая льнопродукции. При ширине междурядья 12 см площадь питания каждого растения была менее благоприятной для льна, что проявлялось в формировании

Таблица 3. Урожайность льнопродукции сорта Днепр 1 при разных нормах высева семян (2023–2024 гг.)

Table 3. Yield of Dnepr 1 flax at different seeding rates (2023–2024)

Вариант	Льносолома, ц/га	Льносемена, ц/га	Содержание волокна, %	Льноволокно, ц/га
8 млн шт./га	25,4	9,6	36,7	7,5
12 млн шт./га	37,4	10,2	35,0	10,5
16 млн шт./га	41,1	10,9	36,6	12,0
22 млн шт./га	36,3	7,9	35,6	10,3
26 млн шт./га	39,3	7,5	35,6	11,2
НСП ₀₅ , ц/га	7,0	1,3		

Таблица 4. Влияние нормы высева семян и ширины междурядья на густоту стеблестоя льна-долгунца селекционной линии Р-256-02

Table 4. Effect of seeding rate and distance planting on the density of the flax crop of the R-256-02 selection line

Вариант	Среднее количество растений, шт./1 м ²	CV в период полных всходов, %	Сохранность растений к уборке, %
Норма высева, млн шт./га	Ширина междурядья, см	полные всходы	перед уборкой
8	12	824	780
12	12	1300	1254
12	7,5	1274	1120
16	12	1603	1520
22	12	2170	2048
22	7,5	2197	2032

растений с меньшей высотой и массой, невыровненностью растений по высоте.

Анализ структурных элементов урожайности льна-долгунца селекционной линии Р-256-02 показал, что при посеве рядовым способом с нормой высева 12 млн шт./га и ширине междурядья 7,5 см сформировались более высокорослые растения — 91,4 см с большим диаметром стебля — 1,68 мм. Большее количество коробочек на одном растении — 5,8 и 5,4 шт. отмечали при норме высева 12 млн шт./га с шириной междурядья 7,5 см и при норме высева 8 млн шт./га с шириной междурядья 12 см. Большее количество семян в одной коробочке — 7,6 шт. было при норме высева 12 млн шт./га с шириной междурядья 12 см.

Наибольшее отклонения высоты стебля от среднего значения 4,50 см и его диаметра 0,18 мм отмечали при норме высева 22 млн шт./га и ширине междурядья 12 см, что и сказалось на величине урожайности льносоломы и льноволокна.

Самая высокая урожайность льносоломы 72,3 и 79,8 ц/га получена при посеве с нормой высева 12 и 22 млн шт./га с шириной междурядья 7,5 см за счет наибольшей высоты стебля — 91,4 и 82,8 см с диаметром 1,62 и 1,44 мм, соответственно. Наибольшая урожайность льносемян 11,2 ц/га была получена при посеве с нормой высева 12 млн шт./га и шириной междурядья 7,5 см и 10,3 ц/га — при посеве с нормой высева 8 млн шт./га и шириной междурядья 12 см за счет формирования большего количества коробочек на одном растении — 5,8 и 5,4 шт. (табл. 5).

Увеличение ширины междурядья с 7,5 до 12 см при возделывании льна-долгунца с нормой высева 12 и 22 млн шт./га привело к достоверному

снижению урожайности льносо-
ломы на 11,1 и 19,8 ц/га (на 15,4
и 24,5%), урожайности льносе-
мян на 4,1 и 2,9 ц/га (на 36,6 и
31,9%) (табл.5).

Таким образом, в условиях
Центрального района Нечерно-
земной зоны на дерново-под-
золистой среднесуглинистой
почве с очень высоким содержа-
нием фосфора и низким калия
на фоне внесения 2 ц/га азот-
но-фосфорно-калийного удоб-
рения с бором (N28P46K28) для
нового сорта Днепр 1 наиболь-
шая урожайность льносемян
10,9 ц/га, льносоломы 41,1 ц/га
и льноволокна 12,0 ц/га получена при посеве ря-
довым способом с нормой высева 16 млн шт./га и
ширине междурядья 7,5 см за счет более высоко-
рослых растений с большим диаметром. При нор-
ме высева 26 млн шт./га получен близкий урожай
льносоломы — 39,3 ц/га, льноволокна 11,2 ц/га за
счет большего количества растений на 1 м² при
снижении семенной продуктивности до 7,5 ц/га.

Для селекционной линии льна-долгунца
Р-256/02 на фоне внесения 1 ц/га азофоски и 2
ц/га органоминерального удобрения «Льняное»
(в сумме N30P26K36) возделывание с шириной
междурядья 7,5 см при норме высева 12 и 22 млн
шт./га в сравнении с возделыванием льна с шири-
ной междурядья 12 см при тех же нормах высева
обеспечило лучшие условия для роста и развития
льна за счет наиболее благоприятной площа-
ди питания. Из-за меньшего загущения в рядке
сформировались растения с лучшими морфоло-
гическими показателями и более выровненным
стеблестоем. Достоверная прибавка урожайно-
сти льносоломы составила 11,1 и 19,8 ц/га (15,4 и
24,5%), льносемян — 4,1 и 2,9 ц/га (36,6 и 31,9%),
соответственно норме высева.

Наибольшую урожайность волокнистой льно-
продукции селекционной линии льна-долгунца
Р-256/02 получили при норме высева 22 млн шт./га
с шириной междурядья 7,5 см. Урожайность
льносоломы составила 79,8 ц/га, льносемян —
9,1 ц/га. Содержание волокна в стеблях льна
и урожайность всего волокна было самым

Таблица 5. Влияние элементов агротехнологии на урожайность льнопродук-
ции селекционной линии Р-256-02 (2024–2025 гг.)
Table 5. Influence of agrotechnology elements on the yield of flax products of the
breeding line R-256-02 (2024–2025)

Вариант		Льносолома,	Льносемена,	Содержание	Льноволокно,
Норма	Ширина	ц/га	ц/га	волокна, %	ц/га
высева,	междурядья,				
млн шт./га	см				
8	12	57,0	10,3	34,6	15,8
12	12	61,2	7,1	34,8	17,1
12	7,5	72,3	11,2	32,9	19,0
16	12	66,4	7,4	32,2	17,1
22	12	60,0	6,2	37,8	18,1
22	7,5	79,8	9,1	38,9	24,8
НСР ₀₅ , ц/га		11,1	2,1		

высоким — 38,9% и 24,8 ц/га. Возделывание
льна-долгунца с нормой высева 22 млн шт./га в
сравнении с нормой высева 12 млн шт./га и шири-
не междурядья 7,5 см привело к снижению содер-
жания волокна на 6,0% абсолютных, а при ширине
междурядья 12 см — на 3,0%. Возделывание льна с
меньшими нормами высева (8, 12 и 16 млн шт./га)
в сравнении с нормой высева 22 млн шт./га не за-
висимо от ширины междурядья привело к сниже-
нию содержания волокна в среднем на 4,3% (абсо-
лютных).

Выводы/Conclusions

На основании проведенных исследований вы-
явлено, что для возделывания нового сорта
льна-долгунца Днепр 1 в Нечерноземной зоне на
дерново-подзолистой среднесуглинистой поч-
ве наибольшая продуктивность по льноволокну и
льносеменам была получена при посеве с нор-
мой высева семян 16 млн шт./га с шириной меж-
дурядья 7,5 см.

Исследование элементов агротехнологии для
селекционной линии Р-256-02 на дерново-подзо-
листой среднесуглинистой почве в Нечернозем-
ной зоне показало, что наибольшая урожайность
волокнистой льнопродукции получена при воз-
делывании с нормой высева 22 млн шт./га и ши-
риной междурядья 7,5 см. Наибольшая семен-
ная продуктивность получена при норме высева
12 млн шт./га с шириной междурядья 7,5 см и
8 млн шт./га с шириной междурядья 12 см.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.
Вклад в работу: Сорокина О.Ю. — 40%, Кузьменко Н.Н. — 40%,
Ильина В.И. — 20%.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for the work and the data presented.
Contribution to the work: Sorokina O.Yu. — 40%, Kuzmenko N.N. —
40%, Ilyina V.I. — 20%.
The authors declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по государственному заданию научно-
исследовательских работ № FGSS 2026-0003 Федерального
научного центра лубяных культур

FUNDING

The work was carried out according to the state assignment of
scientific research No. FGSS 2026-0003 of the Federal Scientific
Center for Bast Crops

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рожмина Т.А. и др. Поиск перспективных генотипов льна-
долгунца с высоким качеством волокна. *Достижения науки и
техники АПК*. 2024; 38(10): 70–75.
EDN DHOODP

REFERENCES

1. Rozhmina T.A. et al. Search for promising flax genotypes with high
fibre quality. *Achievements of science and technology in agribusiness*.
2024; 38(10): 70–75 (in Russian).
EDN DHOODP

2. Гриц Н.В., Ростовцев Р.А., Диченский А.В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах. *Аграрная наука*. 2023; (10): 88–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94>
3. Степин А.Д., Рысев М.Н., Рысева Т.А., Уткина С.В. Оценка перспективных линий льна-долгунца селекционного сортоиспытания по основным хозяйственно ценным признакам и адаптивности. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(4): 450–462. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.450-462>
4. Зуева С.М., Конова А.М., Гаврилова А.Ю., Трабунова Е.А., Чехалков С.М. Влияние нормы высева на урожайность льна-долгунца сорта Феникс в условиях Смоленской области. *Аграрный научный журнал*. 2022; (12): 31–35. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp31-35>
5. Сорокина О.Ю. Оценка ассортимента удобрений и способов их внесения под новый сорт льна-долгунца Универсал. *Аграрная наука*. 2021; (6): 55–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59>
6. Трабунова Е.А., Конова А.М., Гаврилова А.Ю., Зуева С.М., Чехалков С.М. Сравнительная характеристика среднеспелых сортов льна-долгунца смоленской селекции. *Аграрный вестник Урала*. 2020; (1): 28–34. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-192-1-28-34>
7. Мансапова А.И., Горбова М.А. Особенности технологий возделывания льна-долгунца на волокно и семена в подтаежной зоне Омской области. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020; (12): 24–30. EDN SDENOK
8. Степанова Н.В. Влияние плотности ценоза на урожайность и качество товарных посевов льна-долгунца. *Земледелие и растениеводство*. 2024; (2): 46–49.
9. Кузьменко Н.Н., Сухопалова Т.П., Ильина В.И. Влияние агротехнологических элементов возделывания на продукционный процесс льна-долгунца. *Пермский аграрный вестник*. 2019. (1); 48–54. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-36-40>
10. Кузьменко Н.Н., Ильина В.И. Сортотиповая отзывчивость льна-долгунца на нормы высева семян. *Научные труды по агрономии*. 2020; (1): 9–14. EDN IUKCFH
11. Лойко С.Ф., Старосотников С.В. К вопросу распределения семян по площади при посеве льна-долгунца. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2009; 43: 127–133. EDN YWDYXM
12. Петровец В.Р., Астахов В.С., Амеличев В.В. Сравнительный анализ посева льна отечественными и зарубежными сеялками и агрегатами. *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ*. Брянск: Брянский ГАУ. 2022; 250–256. EDN UHSJKD
13. Салапура Ю.Л., Лойко С.Ф., Старосотников С.В. Анализ особенностей применения посевных машин с пневматическими системами высева при севе льна. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016; 50: 98–102. EDN YKAFFF
14. Ильина В.И. Влияние элементов агротехнологии возделывания на урожайность и качество нового среднеспелого сорта льна-долгунца Факел. *Технические культуры*. 2025; (1): 59–65. <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2025.92.87.008>
2. Grits N.V., Rostovtsev R.A., Dichensky A.V. The use of elements of digital agriculture to obtain climate-based crop yields in specialized crop rotations. *Agrarian science*. 2023; (10): 88–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94>
3. Stepin A.D., Rysev M.N., Ryseva T.A., Utkina S.V. The assessment of promising fiber flax lines of breeding variety testing according to the main agronomic traits and adaptability. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(4): 450–462 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.450-462>
4. Zueva S.M., Konova A.M., Gavrilova A.Yu., Traburowa E.A., Chekhalkov S.M. The influence of the seeding rate on the yield of flax of the Phoenix variety in the conditions of the Smolensk region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; (12): 31–35 (in Russian). <http://doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp31-35>
5. Sorokina O.Yu. Evaluation of the range of fertilizers and methods of their application for a new variety of fiber flax Universal. *Agrarian science*. 2021; (6): 55–59 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59>
6. Traburowa E.A., Konova A.M., Gavrilova A.Yu., Zuyeva S.M. Comparative characteristics of medium-maturing varieties of fiber-flax of Smolensk selection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; (1): 28–34 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-192-1-28-34>
7. Mansapova A.I., Gorbova M.A. The features of cultivation technologies of fiber flax for fiber and seeds in the subtaiga zone of the Omsk region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020; (12): 24–30 (in Russian). EDN SDENOK
8. Stepanova N.V. Influence of cenosis density on the yield and quality of fibre flax crops. *Crop Farming and Plant Growing*. 2024; (2): 46–49 (in Russian).
9. Kuzmenko N.N., Sukhopalova T.P., Ilyina V.I. Influence of agrotechnological elements of cultivation on the production process of flax. *Perm Agrarian Bulletin*. 2019. (1); 48–54 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-36-40>
10. Kuzmenko N.N., Iliina V.I. Varietal responsiveness of fiber flax to seeding rates. *Scientific works on agronomy*. 2020; (1): 9–14 (in Russian). EDN IUKCFH
11. Loiko S.F., Starosotnikou S.V. To a question of distribution of seeds on the area at flax crops. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2009; 43: 127–133 (in Russian). EDN YWDYXM
12. Petrovets V.R., Astakhov V.S., Amelichev V.V. Comparative analysis of flax sowing by domestic and foreign seeders and aggregates. *Designing, use and reliability agricultural machines destination. Collection of scientific articles*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022; 250–256 (in Russian). EDN UHSJKD
13. Salapura Y.L., Loiko S.F., Starosotnikou S.V. Analysis of peculiarities of application of sowing machines with pneumatic seeding system at flax sowing. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2016; 50: 98–102 (in Russian). EDN YKAFFF
14. Ilyina V.I. Influence of agrotechnological elements of cultivation on yield and qualities of a new medium-maturing variety of fiber flax Fakel. *Technical crops*. 2025; (1): 59–65 (in Russian). <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2025.92.87.008>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Юрьевна Сорокина

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией агротехнологий
olga-sorokina@bk.ru

Наталья Николаевна Кузьменко

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий
kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

Вера Ивановна Ильина

инженер-исследователь лаборатории агротехнологий
v.ilina.tr@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур, Комсомольский проспект, 17/56, Тверь, 170041, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Yurevna Sorokina

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Scientific Officer, Head of the Laboratory of Agricultural Technologies
olga-sorokina@bk.ru

Natalia Nikolaevna Kuzmenko

Candidate of Agricultural Sciences, Leading researcher at the Laboratory of Agricultural Technologies
kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

Vera Ivanovna Ilyina

Research engineer at the Laboratory of Agricultural Technologies
v.ilina.tr@fncl.ru

Federal Research Center of Bast Fiber Crops, 17/56 Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia

УДК 639.3.06:595.371+577.1+664.9

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-116-128

Н.А. Горбунова¹ ✉

М.Б. Ребезов¹

О.П. Болешенко²

Я.М. Ребезов³

¹Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

²Всероссийский НИИ зерна и продуктов его переработки – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

³Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

✉ n.gorbunova@fnfps.ru

Поступила в редакцию: 12.12.2025

Одобрена после рецензирования: 09.04.2026

Принята к публикации: 23.04.2026

© Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Болешенко О.П., Ребезов Я.М.

Возможности использования артемии (Обзор, часть 2)

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Представлен обзор *Artemia spp.* (артемии) как биологического ресурса с широким спектром применения. Рассматриваются перспективы применения артемии в виде кормовых добавок в аквакультуре и животноводстве, а также ее потенциал в качестве источника биологически активной добавки, соединений для фармацевтики.

Методы. Поиск потенциально релевантных статей производили по ключевым словам в электронных базах на русском и иностранных языках.

Результаты. Артемия, особенно ее науплии, остается незаменимым стартовым кормом в мировой аквакультуре для личинок креветок и мальков более 85% видов морских рыб. Использование биомассы артемии и продуктов ее переработки (мука, липидные концентраты) в кормлении сельскохозяйственных животных представляет собой перспективное направление для повышения питательности рационов. Артемия может быть использована в животноводстве, фармацевтике или косметологии, однако существует серьезная конкуренция со стороны «традиционных» средств, необходимы новые исследования для выявления потенциальной пользы для человека.

Ключевые слова: артемия, *Artemia spp.*, аквакультура, рынок артемии, функциональные и технологические свойства

Для цитирования: Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Болешенко О.П., Ребезов Я.М. Возможности использования артемии (Обзор, часть 2). *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 116–128.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-116-128>

Review



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-116-128

Nataliya A. Gorbunova¹ ✉

Maksim B. Rebezov¹

Olga P. Boleshenko²

Yaroslav M. Rebezov³

¹Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

²All-Russian Scientific Research Institute of Grain and its Processed Products – Branch of Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

³Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

✉ n.gorbunova@fnfps.ru

Received by the editorial office: 12.12.2025

Accepted in revised: 09.04.2026

Accepted for publication: 23.04.2026

© Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Boleshenko O.P., Rebezov Ya.M.

Possibilities of using Artemia (Review, Part 2)

ABSTRACT

Relevance. This article presents a review of *Artemia spp.* (Artemia) as a biological resource with a wide range of applications. It examines the potential for its use as a feed additive in aquaculture and livestock farming, as well as its potential as a source of biologically active additives and pharmaceutical compounds.

Methods. A keyword search for potentially relevant articles was conducted in Russian and foreign language electronic databases.

Results. Artemia, particularly its nauplii, remains an indispensable starter feed in global aquaculture for shrimp larvae and fry of over 85% of marine fish species. The use of Artemia biomass and its derivatives (meal, lipid concentrates) in livestock feed represents a promising approach to improving the nutritional value of diets. Artemia can be used in livestock farming, pharmaceuticals, and cosmetology; however, it faces significant competition from traditional methods, and further research is needed to identify its potential benefits for humans.

Keywords: Artemia, *Artemia spp.*, aquaculture, Artemia market, functional and technological properties

For citation: Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Boleshenko O.P., Rebezov Ya.M. Possibilities of using Artemia (Review, Part 2). *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 116–128 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-116-128>

Введение/Introduction

В этом номере журнала представлена вторая часть научного обзора «Возможности использования артемии» (первая часть опубликована в журнале «Аграрная наука» №4 за 2026 г., стр. 110-119) [1].

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Данный обзор направлен на анализ применения артемии в разных областях жизнедеятельности.

Методология подготовки научного обзора представлена в журнале «Аграрная наука» №4 за 2026 г., стр. 110-119) [1].

Научный обзор разделен на 2 части. Первая часть посвящена культивированию и функциональным особенностям артемии, а вторая — возможностям применения артемии в промышленности (табл. 1).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Часть 2.

4. Использование артемии в качестве корма для аквакультур

Корм и его приготовление часто составляют наибольшую статью расходов для предприятий аквакультуры промысловых рыб: обычно на 30–70% от общей стоимости производства [2, 3].

Одним из основных видов зоопланктона, используемого в качестве естественного корма для разведения рыбы, креветок и других морских организмов, является *Artemia*, поскольку он содержит большое количество белка и аминокислот. Цисты Артемии используются как стартовый корм при разведении осетровых, лососевых и карповых видов рыб. Также цисты применяют и в качестве корма для аквариумных рыб. Следует отметить, что промышленное производство кормов стоит перед фундаментальным вызовом, обусловленным ростом населения в мире и увеличением потребности в животном белке. Объемы выработки рыбной муки достигли пределов своей экологической и экономической устойчивости [2–4].

Обладая высокими кормовыми достоинствами, науплии, выведенные из цист артемии, служат широко распространенным стартовым кормом для личинок рыб и ракообразных. При этом, согласно постановлению Правительства Российской Федерации № 401¹, сами цисты артемии представляют собой стратегически ценный биоресурс. [5].

Цисты артемии характеризуются стабильно высоким содержанием белка, незаменимых аминокислот, гормонов, каротиноидов, витаминов и ценных жирных кислот. На сегодняшний день науплии, получаемые из этих цист, представляют

Таблица 1. Структура научного обзора «Возможности использования артемии»

Table 1. Structure of the scientific review «Possibilities of using Artemia»

Номер части обзора	Наименование раздела научного обзора	Примечание
1	1. Особенности артемии	[1]
	2. История культивирования артемий и современное состояние рынка	
	3. Функциональные и технологические свойства артемии	
2	4. Использование артемии в качестве корма для аквакультур	—
	5. Питательная ценность артемии. Влияние обогащения.	
	6. Другие направления использования артемий	

собой не только оптимальный, но и зачастую единственный доступный источник живого корма для ранних стадий развития большинства объектов аквакультуры. Личинки и взрослые особи артемии, несмотря на появление множества искусственных альтернатив, по-прежнему сохраняют статус наиболее эффективного корма при выращивании молоди рыб и ракообразных. Данные преимущества обусловили коммерческую значимость цист артемии как ценного биоресурса [6].

Эффективное применение артемии как ценного кормового ресурса при выращивании рыбы зависит от учета биологических особенностей объектов выращивания, совершенствования методов обработки и разработки стандартизированных кормовых решений, сочетающих эффективность, рентабельность и безопасность [6].

Artemia spp. является надежным источником необходимых питательных веществ и ферментов, благодаря чему личинки рыб могут получать свои потребности для роста и развития, а также ферменты, которые не могут эффективно синтезироваться самой рыбой [7].

При кормлении личинок и молоди различных видов рыб и ракообразных используют покоящиеся (диапаузирующие) яйца (цисты), из которых получают суточные науплии артемии. Кроме того, при выращивании личинок осетровых и лососевых рыб используют не только науплиусов, но и артемию на более поздних стадиях развития. Артемия обладает рядом преимуществ, выгодно отличающих ее от других кормовых организмов: высокая пищевая ценность; маленькие размеры, позволяющие использовать артемию на ранних стадиях культивирования гидробионтов; мягкий наружный скелет; относительная простота приготовления к скармливанию; несложность хранения инкубационного материала (цист) [8].

Помимо наиболее распространенного режима кормления только что вылупившимися и/или обогащенными в течение 24 часов науплиями, для

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 05.04.2019 г. № 401 (URL: <http://government.ru/docs/all/121345/>)

различных видов ракообразных практикуется использование сухих декапсулированных цист, моллюды и биомассы взрослых особей [9, 10].

Декапсулированные цисты (также называемые цистами без панциря) могут быть использованы для начального кормления крабов, креветок и личинок креветок-рачков; однако быстрое оседание цист в морской воде может сделать их недоступными для планктонных личинок, если только их не поддерживать во взвешенном состоянии для культивирования с помощью емкости конической формы и интенсивной аэрации. Наилучшие результаты достигаются при скармливании декапсулированных цист постличиночным креветкам в качестве частичной или полной замены живых науплиев. Основным преимуществом этого метода, помимо того, что он доступен в готовом виде, может быть то, что цисты с низким качеством выведения все еще могут использоваться в качестве источника пищи [11].

Использование науплиев артемии для кормления личинок рыб улучшает рост и развитие рыб и снижает процент смертности [7, 12].

Результаты исследования [13] демонстрируют значительные потенциальные преимущества раннего введения, а также увеличения доли обогащенной артемии II стадии развития при выращивании личинок гигантского кокопу (*Galaxias argenteus*). Улучшение показателей роста и выживаемости личинок привело к существенному увеличению продуктивности, что является очевидным коммерческим преимуществом. Эти изменения в рационе напрямую снижают затраты на живой корм и повышают коммерческие выгоды от производства.

Исследования, направленные на сравнение роста личинок золотой рыбки *Carassius auratus auratus* L., которых кормили науплиями артемии и декапсулированными цистами в период от 4 до 40 дней после вылупления, позволили подробно изучить специфические показатели роста и выживаемости рыбок, специфическую активность общей протеазы, липазы, амилазы и хитиназы. В конце исследования был выявлен самый высокий показатель выживаемости $75,60 \pm 10,72\%$ в группе, получавшей цисты, в то время как показатель в группе, питавшейся науплиями артемии, составил $72,20 \pm 13,88\%$. Общая активность протеаз в обеих экспериментальных группах в раннем онтогенезе демонстрировала повышенный профиль. Результаты исследования показали, что кормление декапсулированными цистами артемий положительно влияло на развитие личинок золотой рыбы в той же степени, что и науплиями [14].

Результаты Ramena Y. et al. свидетельствуют о том, что совместное кормление 4–6 кг артемии на миллион произведенных мальков рекомендуется для успешного выращивания креветок *L. vannamei* [15].

Обыкновенный усач (*Barbus barbus*), пресноводная рыба, был исследован Prusińska et al. для

изучения влияния кормления личинок и молоди усача артемией. Результаты показали, что добавление артемии улучшило усвоение питательных веществ и профиль жирных кислот [7].

В критический период перевода личинок европейского морского окуня (*Dicentrarchus labrax* L.) рекомендуется использовать обогащенные науплии артемии с DHA selco® в качестве единственного или комбинированного антиоксиданта с витамином C для поддержания роста, выживаемости и антиоксидантной эффективности [16].

Интенсификация культивирования раков-астацидов до сих пор создавала серьезные проблемы, такие как низкая выживаемость и скорость роста в течение первых месяцев самостоятельной жизни, в основном обусловленные дефицитом питательных веществ [17]. *Artemia* науплии являются основными источниками пищи для личиночных форм ракообразных. Однако у артемии от природы низкое содержание жирных кислот, поэтому обогащение живых кормов незаменимыми жирными кислотами необходимо для достижения лучшего роста и выживания личинок [18].

Хотя использование цист артемии кажется технически простым, несколько факторов имеют решающее значение для выведения большого количества личинок ракообразных. К ним относятся дезинфекция цист или декапсуляция перед инкубацией и вывод потомства в следующих оптимальных условиях: постоянная температура от 25°C до 28°C, соленость от 15 до 35 ppt, минимальный уровень pH 8,0, уровень насыщения кислородом близок к максимальному, плотность цист составляет 2 г/л, а освещенность достигает 2000 люкс. Все эти факторы влияют на скорость выведения потомства и максимальную продуктивность и, следовательно, себестоимость собранных науплиев артемии [11].

5. Питательная ценность артемии, влияние обогащения

Обогащение является одним из основных факторов, влияющих на биохимический состав, особенно на жирнокислотный состав артемии, используемой в качестве кормов для аквакультуры. При этом следует отметить, что на содержание жирных кислот и их профиль только что вылупившихся науплиев не влияют диета или условия окружающей среды, поскольку они полностью питаются своим желточным мешком [19].

В настоящее время не существует искусственных кормов, которые могли бы полностью заменить артемию, поэтому кормление цистами артемии молоди рыб является актуальным фактором для промышленных инкубаторов. Однако пищевые качества коммерчески доступных штаммов артемии, определяющих пищевую ценность рыбы, а также цену цист артемии, относительно низки по содержанию эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК, 20:5n-3) и докозагексаеновой кислоты (ДГК, 22:6n-3). Обычной практикой является

обогащение цист *Artemia* эмульсиями на основе морских масел [12].

В исследовании Hanaee *et al.* были изучены жирные кислоты, содержащиеся в цистах *Artemia urmiana* до и после их обогащения рыбьим жиром. Декапсулированные цисты *A. urmiana* высушивали в течение 24 ч при 60 °С, жирные кислоты экстрагировали диэтиловым эфиром, переводили в метиловые эфиры жирных кислот с помощью метаноловой кислоты KOH (2N), а сложные эфиры экстрагировали н-гептаном. На следующем этапе декапсулированные цисты *A. urmiana* были обогащены рыбьим жиром для повышения содержания в них жирных кислот. Результаты исследования показали, что этот метод обогащения привел к увеличению содержания эйкозапентаеновой кислоты со 159 до 195 г/кг и докозагексаеновой кислоты с 6 до 84 г/кг [20].

Ряд исследователей разработали продукты и процедуры обогащения артемии с использованием микроводорослей и/или микрокапсулированных продуктов, дрожжей и/или эмульгированных препаратов, самоэмульгирующихся концентратов и/или продуктов на основе микрочастиц [11].

Наивысший уровень обогащения достигается при использовании эмульгированных концентратов: только что вылупившиеся науплии помещаются в емкость для обогащения с плотностью от 100 до 300 науплиев/мл (для периодов обогащения > 24 ч или < 24 ч соответственно). Обогащающая среда состоит из морской воды, продезинфицированной и нейтрализованной гипохлоритом, температура которой составляет 25 °С. Обогащающую эмульсию добавляют последовательно по 0,3 г/л каждые 12 часов. Для интенсивной аэрации используют воздух для поддержания уровня растворенного кислорода выше 4 частей на миллион требуются распылители или чистый кислород. Обогащенные науплии собирают через 24 или 48 часов, тщательно промывают и хранят при температуре ниже 10 °С, чтобы гарантировать, что высоко ненасыщенные жирные кислоты не метаболизируются во время хранения. Уровни обогащения от 50 до 60 мг/г высоко ненасыщенных жирных кислот достигаются после 24-часового обогащения эмульгированными концентратами. После 24-часового обогащения *Artemia nauplii* достигнет примерно 660 мкм, а после 48-часового обогащения — примерно 790 мкм. Кормление *Artemia nauplii*, обогащенным n-3 незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами, приводит к увеличению выживаемости и роста личинок у нескольких видов креветок *Penaeus* и *Macrobrachium rosenbergii* [11]. Хотя приведенные исследования убедительно доказали важность n-3 для артемии при использовании в качестве корма для личинок креветок, количественные диетические требования, а также относительная важность отдельных незаменимых жирных кислот (например, докозагексаеновой кислоты, 22:6n-3, DHA) еще предстоит изучить.

Venero *et al.* указали [21], что линоленовая (18:3n-3), линолевая (18:2n-6), эйкозапентаеновая, докозагексаеновая кислоты, а также ненасыщенные жирные кислоты считаются незаменимыми в рационе ракообразных. Эксперимент был проведен с целью изучения влияния артемии, обогащенной липидными эмульсиями, содержащими высоконенасыщенные жирные кислоты, на рост и выживаемость молоди пресноводного рака *Astacus leptodactylus*. Молодь раков кормили артемией, обогащенной коммерческими эмульсиями (красный перец и ω 3), и необогащенной артемией (контроль). Самый высокий уровень эйкозапентаеновой кислоты был обнаружен в артемии, обогащенной ω 3 (3,17 %), и самый высокий уровень докозагексаеновой кислоты был обнаружен у артемии, обогащенной красным перцем (3,56 %). Прибавка в весе, удельный рост и выживаемость молоди раков увеличивались с добавлением количества эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот в рационе артемии (на 0,04%, 2,32%, соответственно). Наконец, молодь, получавшая артемию, обогащенную ω 3 и красным перцем, имела лучшую прибавку в весе, удельную скорость роста и выживаемость, чем те, кого кормили необогащенной артемией ($p < 0,05$) [22].

Учеными Вьетнама исследовалось влияние обогащения на выживаемость, энергетическую ценность и содержание жирных кислот *Artemia salina*, которые обогащались четырьмя составами (рационами), включающими микроводоросли *Nanochloropsis*, *Isochrysis*, *Pavlova* и рыбий жир. Выживаемость, энергетическая ценность и жирнокислотный состав артемии определяли после обогащения в течение 12 и 24 часов. Выживаемость артемии была самой высокой при использовании в рационе рыбьего жира из печени трески (95%), за ним следовали рационы с микроводорослями *Nanochloropsis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, соответственно. В показателях выживаемости *Artemia salina* не было выявлено существенных различий ($p > 0,05$) в течение двух периодов обогащения, за исключением 24-часового обогащения *Artemia* микроводорослью *Pavlova* (66%). При 24-часовой обогащающей обработке была выявлена разница в энергетической ценности продуктов *Artemia*, получавших микроводоросли *Nanochloropsis*, *Isochrysis*, *Pavlova* и рыбий жир ($p < 0,05$). При обработке рыбьим жиром было обнаружено более высокое содержание энергии (19 кДж) по сравнению с другими обогащающими рационами (с 7,7 кДж до 11,6 кДж). Результаты исследования выживаемости и энергетической ценности артемии в этом исследовании показывают, что все четыре обогащающих корма могут быть успешно использованы при выращивании артемии для кратковременного кормления. Результаты исследования не позволили сделать однозначный вывод о влиянии обогащения на жирнокислотный состав артемии из-за высокого содержания неидентифицированных жирных кислот. При этом

содержание полиненасыщенных жирных кислот в артемии варьировалось от 9,42% до 33,74% от общего количества жирных кислот. Наибольшее содержание полиненасыщенных жирных кислот получено у только что вылупившихся артемий (33,74% от общего количества жирных кислот), за которыми следуют артемия, выращенная *Isochrysis* (в диапазоне от 27,84% до 29,14%), и *Nanochloropsis* (от 24,21% до 24,38%). Самый низкий процент полиненасыщенных жирных кислот был обнаружен при использовании в составе рыбьего жира (с 10,84% до 14,98%) и *Pavlova* (с 9,42% до 19,31%) [23].

Индонезийские ученые установили, что цисты местного вида *Artemia sp.* хорошего качества инкубируются через 8 часов, а уровень выведения *Artemia sp.* достигает 1 320 000 цист (95%) через 27 часов. Артемия местного производства содержит 62,41% белка и 8,66% жира. Было установлено, что наилучшей концентрацией корма является смесь водорослей из 60% *Chaetoceros calcitrans* и 40% *Skeletonema costatum*. Анализ жирнокислотного профиля показал, что самые высокие показатели содержания насыщенных (12,86%) и полиненасыщенных (29,91%) жирных кислот были получены после скармливания водорослей *Chaetoceros calcitrans*, тогда как наиболее высокое содержание жирных кислот Омега-3 (4,93%) было достигнуто после скармливания *Skeletonema costatum*. Анализ профиля незаменимых аминокислот показал, что наибольшее содержание аминокислот наблюдалось при скармливании комбинации *Chaetoceros calcitrans* и *Skeletonema costatum* [24].

Исследовался состав полиненасыщенных жирных кислот у артемии разных стадий онтогенеза в интактных цистах и декапсулированных яйцах артемии, также исследовалось содержание полиненасыщенных жирных кислот после обогащения цист, декапсулированных яиц, науплий артемии многокомпонентным комплексом биологически активных веществ, в который были включены пробиотики на основе *Bacillus subtilis*, адаптогены, витамины, аминокислоты и конопляное масло. Результаты показали, что среди идентифицированного перечня жирных кислот доминирующими у артемии на всех стадиях онтогенеза являлись линолевая, пальмитолеиновая и олеиновая. Содержание жирных кислот у артемии по мере роста и развития возрастает от 490-704 мг/г в цистах до 602-854 мг/г у науплий. Содержание n-6 во всех видах биоматериала артемии после обогащения существенно возросло. В наибольшей мере возросло содержание линолевой, арахидоновой кислот и эйкозапентаеновой, докозагексаеновой, линоленовой жирных кислот. Это отмечено прежде всего в науплиях, декапсулированных яйцах и цистах артемии. Авторы исследования установили, что обогащение артемии разработанным ими комплексом биологически активных веществ повысило содержание эйкозапентаеновой

и докозагексаеновой кислот в цистах, декапсулированных яйцах и науплиях по сравнению с необогащенными интактными цистами и декапсулированными яйцами [25].

Наряду с обогащением незаменимыми липидами, были апробированы методы обогащения артемии другими необходимыми питательными веществами, такими как метионин [26], витамины A, C и E [27, 28], минералы, включая кобальт [29], йод [30], цинк, марганец [31]) и селен [32]. Селен считается важным микроэлементом практически для всех видов животных и является основным компонентом глутатионпероксидазы, которая участвует в регуляции антиоксидантного статуса рыб путем восстановления перекиси водорода и гидропероксидов до их основных компонентов. Кроме того, селен играет защитную роль, снижая окислительный стресс, вызванный токсичными элементами, такими как медь, что приводит к усилению иммунного ответа у гидробионтов [33].

Cavrois-Rogacki *et al.* [33] оценили влияние различных схем обогащения и разработали протокол обогащения *Artemia nauplii* селеном с использованием различных неорганических (селенит натрия) и органических (Sel-Plex) соединений. Результаты показали, что использование растворенного селенита натрия в дозе 12 мг/л в течение 4 часов, селенита натрия в дозе, эквивалентной дозе селена (т.е. 24 мкг/л) в течение 4 часов, эмульсии соевого лецитина с содержанием селенита натрия 24 мкг/л не приводило к дополнительному повышению уровня Se по сравнению с контролем, что указывает на достижение насыщения при дозе 24 мкг/л независимо от химической формы.

Однако использование препарата Sel-Plex в течение 4 часов в различных концентрациях: 0 мг/л, 12 мг/л, 24 мг/л и 36 мг/л подтвердило возможность обогащения науплий целевыми уровнями Se, поскольку этот процесс осуществлялся по схеме «доза-эффект» с обогащением селеном в диапазоне от 1,7 до 12,4 мг/кг. Кроме того, добавление Sel-Plex к обычному продукту обогащения не влияло на уровень обогащения липидами и жирными кислотами независимо от дозировки.

Для обогащения артемии определенными уровнями селена целесообразно использовать селенодрожжевой комплекс. Эксперимент доказал возможность обогащения *Artemia nauplii* свободным метионином. Обогащенный корм *Artemia nauplii* позволяет кормить личинок рыб, поскольку в науплиях сохраняется свободный метионин [33].

Науплии артемии могут искусственно накапливаться и поддерживать высокий уровень α-токоферола, что делает эту систему доставки живого корма полезной для изучения диетических потребностей и антиоксидантного действия витамина E в исследованиях питания личинок ракообразных. Эффективность применения науплий в качестве диетической системы-носителя может быть протестирована на наличие других питательных компонентов, таких как жирорастворимые

продукты, вводимые в виде эмульсии, водорастворимые соединения, с помощью липосом и/или микрокапсул [11].

Цисты артемии содержат значительное количество витамина С в форме стабильного 2-сульфата аскорбиновой кислоты. Было высказано предположение, что это соединение служит запасенной формой витамина или, возможно, источником сульфатов для развивающегося эмбриона [34].

6. Другие направления использования артемии

Хотя основные направления использования артемии связаны с применением ее в качестве корма в аквакультуре, известно также использование в животноводстве, медицине и парфюмерной промышленности [8].

Экология

Значительный интерес для экологов артемия представляет как единственный организм, способный активно очищать воду ультрагалинных водоемов, т.е. среду своего обитания. В определенной мере артемия поддерживает естественный режим качества водной среды [5]. Обитание в экстремальных условиях делает артемию полезным модельным организмом для изучения эволюционных и экологических аспектов ответа на стресс на всех уровнях биологической организации [35].

Антропогенная нагрузка на экосистемы гиперсоленых озер, связанная с добычей химического сырья, сбросом промышленных сточных вод, усиливающимся загрязнением в результате рекреационной деятельности и поступления поверхностных вод с водосборных территорий, приводит к возрастанию воздействия на их биоту. Артемия в определенной степени способна поддерживать естественный баланс и качество водной среды в таких условиях [36].

Артемия способствует получению очень чистой соли (до 99,7 NaCl) в солеварнях, предотвращает цветение воды в водоемах. Ежегодный мировой объем заготовки соли превышает 200 миллионов тонн. В процессе ее добычи применяется технология выпаривания морской воды в специальных прудах. Отсутствие артемии в водоемах с высокой соленостью приводит к интенсивному «цветению» фитопланктона, что ухудшает условия кристаллизации соли и снижает ее качество из-за загрязнения. Интродукция артемии в такие пруды позволяет быстро очистить воду от фитопланктона. Это дает производителям тройную пользу: чистую соль, биомассу рачков и их цисты. Различные типы производства соли имеют положительный успех в Азии (Тайланд, Филиппины, Бирма, Вьетнам) и Центральной Америке (Коста-Рика) [8].

Артемии могут выращиваться с использованием сельскохозяйственных отходов для обеспечения кормом или биомассой, удовлетворяющей растущий спрос в аквакультуре. Использование

Рис. 1. Направления использования *Artemia spp.* в экологии
Fig. 1. Directions for the use of *Artemia spp.* in ecology



сахаросодержащих и спиртосодержащих отходов в интенсивном производстве артемии в закрытых помещениях или прудах потенциально может стать решением двух основных глобальных проблем: биоремедиации больших объемов сельскохозяйственных отходов и производства питательных кормов/продуктов питания для решения глобальной проблемы нехватки белка [4]. Однако использование сельскохозяйственных отходов требует строгого контроля на содержание ксенобиотиков.

Подводя итог, можно отметить несколько полезных свойств артемии для улучшения экологической безопасности водных угодий (рис. 1) [4, 5, 35, 36].

Корма для сельскохозяйственных животных

В последнее время птицеводческая и животноводческая отрасли конкурируют за использование в качестве кормовых ресурсов биомассы артемии. Таким образом, существует необходимость в содействии более широкому использованию альтернативных источников белка в аквакультуре, а также в том, чтобы промышленность и инновации расширяли масштабы использования здоровых, устойчивых альтернативных кормов [4, 37].

Благодаря значительному содержанию белков, жиров, незаменимых аминокислот и жирных кислот цисты артемии применяются в качестве кормовой добавки в животноводстве и птицеводстве. Их использование способствует повышению общей продуктивности, улучшению качества яиц и репродуктивных функций кур-несушек, а также оказывает положительное влияние на скорость роста и развитие цыплят-бройлеров [38].

Цисты артемии обладают высокой ценностью в качестве кормовой добавки, что обусловлено быстрым ростом рачка, высокой эффективностью конверсии корма в биомассу (до 50%), а также значительным содержанием каротиноидов, протеина и незаменимых аминокислот. Науплии, которые можно получить из цист в течение суток, во всем мире признаны оптимальным стартовым живым кормом для многих видов рыб и ракообразных. Однако не все цисты обладают высокой жизнеспособностью — при неблагоприятных условиях они теряют способность к выклеву. Цисты с процентом выклева менее 50% считаются

некондиционными, при этом остаются высокопитательным кормовым ресурсом для сельскохозяйственных животных и птицы².

Включение цист артемии в количестве 5, 10, 15% (1, 2 и 3 группа, соответственно) в кормовые смеси цыплят-бройлеров, как биологически полноценного ингредиента, способствует увеличению скорости роста, снижению затрат корма на 1 кг прироста живой массы. Живая масса в конце периода выращивания во всех опытных группах была больше по сравнению с контролем: в первой опытной группе — на 1,9%, во второй — на 10,0% ($P < 0,001$) и в третьей — на 7,8% ($P < 0,01$). Среднесуточные прирост живой массы цыплят первой опытной группы — на 1,9%, во второй — на 10,3% и третьей — на 8,1% больше по сравнению с контрольной группой³. При вводе цист артемии увеличивается содержание витамина А в печени цыплят-бройлеров в среднем на 14,6–38,6%. Установлена связь между дозой ввода цист артемии в кормосмеси и депонированием витамина А в печени: содержание витамина А в печени во второй опытной группе было больше по сравнению с первой на 6,4% и в третьей — на 20,9%. Содержания кальция и фосфора в большеберцовых костях незначительно превышало контроль: по кальцию — на 1,0–1,2%, по фосфору на 0,08–0,59%. [39].

Применение опытных кормовых смесей с включением цист артемии позволило снизить расход корма на 1 кг прироста живой массы в диапазоне от 1,07% до 9,79%. При этом была выявлена обратно пропорциональная зависимость между долей цист артемии в рационе цыплят-бройлеров и затратами корма. Так, в контрольной группе этот показатель составил 2,13 кг, в первой опытной группе — 2,11 кг, во второй — 1,97 кг, а в третьей — 1,92 кг на 1 кг прироста. Птица опытных групп при убое демонстрировала более высокую мясную продуктивность по сравнению с контролем. Масса потрошеной тушки в опытных группах была выше: у петушков — на 3,9–17,2%, у курочек — на 3,1–9,2%⁴.

Исследования подтверждают высокую эффективность использования белково-витаминно-минеральных добавок, произведенных на основе цист артемии, в рационе кур-несушек. Например, включение в корм цист артемии в качестве такой добавки позволило увеличить яйценоскость на 30%, а прирост живой массы — на 43% (за четырехмесячный период выращивания масса бройлеров достигла 1925 г по сравнению с 1350 г в контрольной группе). [6].

Результаты экспериментов *in vitro* и *in vivo* показали, что шрот из артемий обладает высоким качеством белка, а его усвояемость составила более 90% [40, 41].

Для определения усвояемости аминокислот цист артемии пятидневным цыплятам-бройлерам давали полуочищенный рацион, в котором цисты были единственным источником белка. Значения усвояемости аминокислот в тестируемом рационе с использованием содержимого подвздошной кишки и экскрементов рассчитывали с использованием оксида хрома в качестве неперевариваемого маркера. Результаты показали, что при определении кажущейся усвояемости аминокислот в экскрементах серин имел самую низкую (0,80), а метионин — самую высокую (0,92) усвояемость, в то время как глицин имел самую низкую (0,88), а аргинин и лейцин имели самую высокую (0,95) кажущуюся усвояемость в подвздошной кишке. При измерении истинной усвояемости аминокислот с выделениями и подвздошной кишкой аланин и глицин имели самую низкую (0,90 и 0,93) усвояемость, а метионин — самую высокую (0,96 и 0,99) усвояемость, соответственно. В целом, место измерения не оказывало влияния на кажущуюся или истинную усвояемость аминокислот в шроте из артемий [42].

Авторы исследовали содержание свободных аминокислот в зависимости от стадии развития рачка и отметили стабильное повышение их концентрации в результате автолитического протеолиза [43].

Производство БАД и питания человека

Питательные свойства артемий могут быть применены в производстве биологически активных добавок в питание человека.

Первые упоминания об *Artemia* в качестве незаменимого источника энергии и сил были найдены у индейцев, живших около Большого Соленого озера. Они в огромных количествах ловили этого ракообразного и готовили различные кушанья [38]. Население в долине Нила изготавливало из артемий пасту [36].

Цисты артемии — высокопитательный продукт. В них содержится более 40% белка, легкоусвояемые жиры с ненасыщенными кислотами, около 30% углеводов и комплекс витаминов. Витамин Е в них в несколько раз больше, чем в сухом молоке. Также они богаты каротином: до 136 мг каротиноидов на 1 кг (эквивалентно 1 мкг витамина А на 6 мкг каротиноидов). Благодаря этому цисты используют как добавку в производстве молочных продуктов⁵.

² Таранов, А.Г. Осипчук А.Ф., Иванков А.И. Патент RU 2316978. Сухая форма биологически активной добавки к пище на основе цист рачка *Artemia salina* (варианты). Опубликовано 10.05.2005.

³ Оптимальной с точки зрения соотношения цена/качество признана доза 10%, так как дальнейшее увеличение до 15% не дало статистически значимого прироста ($p > 0,05$)

⁴ Ядрищенская О.А. Влияние различных доз и технологии обработки цист артемии на продуктивность цыплят бройлеров. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 06.02.02 — кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов. Омск, 2005; 24 с.

⁵ Мотовилов О.К. Исследование закономерностей процесса декапсуляции цист *Artemia Salina* и их использование при производстве молочных продуктов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.04 — Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств. Кемерово, 2004; 20 с.

Перспективным направлением использования цист артемий может быть создание новых комбинированных молочных продуктов, в частности сыров. В Сибирском научно-исследовательском и проектно-технологическом институте переработки сельскохозяйственной продукции и Кемеровском технологическом институте пищевой промышленности были проведены исследования процессов декапсуляции цист артемий салина и разработана технология получения комбинированных молочных продуктов с применением витаминно-минеральной композиции (ВМК) «Артсалин»⁴.

На основе цист артемий разработана сухая форма биологически активной добавки к пище. Техническим результатом данного изобретения является разработка биологически активной добавки на основе цист (яиц) рачков рода *Artemia* с повышенным содержанием нутриентов и высокой биодоступностью, предназначенной для пищевого применения. Содержание биологически активных веществ в 100 г готового продукта составляет: йод — от 4,1 до 9,24 мг; сумма нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) — от 3,88 до 5,29 г; витамин А — 0,33–0,41 мг; витамин D — 1,08–1,32 мкг; витамин E — 0,30–0,36 мг; белок — 38,9–47,5 г; жиры — 2,45–3,1 г; углеводы — 17,97–21,97 г; хитин — 2,14–2,54 г; глюкозамин — 1,60–2,0 г; коллаген — 332,7–406,5 мг⁶.

Известна биологически активная добавка на основе цист рачка *Artemia salina*, характеризующаяся тем, что представляет собой липидно-витаминный комплекс из экстракта измельченных цист рачка *Artemia salina*, имеет кислотное число 69, йодное число 44,7, перекисное число менее 0,002%, отношение полиненасыщенных жирных кислот к незаменимым жирным кислотам 4: 1 и включает следующий состав компонентов: витамин А (ретинол), витамин E (токоферол), холестерол, сквален, миристиновая кислота, палмит-олеиновая кислота, пальмитиновая кислота, маргариновая кислота, стеариновая кислота, олеиновая кислота, витамин F и каротиноиды, производные холестерина⁷.

Известна биологически активная добавка на основе цист, или науплий, или взрослых особей рачка *Artemia salina*, для наружного или внутреннего применения, характеризующаяся содержанием липидной и белково-аминокислотной фракций из экстракта измельченных цист, или науплий, или взрослых особей рачка *Artemia salina*, в соотношении от 1000:1 до 1:1. Белково-аминокислотная фракция водно-спиртового экстракта цист рачка *Artemia salina* характеризуется

достаточно высоким содержанием белков, незаменимых и заменимых аминокислот и других биологически активных соединений. Липидная фракция водно-спиртового экстракта цист рачка *Artemia salina* содержит полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, стероиды и гормоноподобные вещества, ростовые факторы и другие жирорастворимые биологически активные соединения⁸.

Одним из перспективных сырьевых источников для получения БАДов, премиксов, нутрицевтиков в Каракалпакстане становятся цисты рачка *Artemia parthenogenetica*, которые были обнаружены в акватории Аральского моря в конце XX века, сейчас, вследствие высокой минерализации водной среды, стали единственным успешно размножающимся видом в Аральском море, запасы которого в настоящее время достигают промысловых объемов [44].

Крупномасштабное производство высококачественной биомассы артемий с использованием сельскохозяйственных отходов принесет пользу аквакультуре и аквариумной промышленности, может стать потенциальным источником белка для потребления человеком, как это практикуется в некоторых сообществах, где встречается естественная популяция артемий. Кроме того, в Азии артемия в настоящее время используется в качестве основного ингредиента: например, омлет во Вьетнаме, приготовленный из биомассы артемий, куриных яиц, рисовой муки и овощей, стал обычным блюдом в некоторых общинах с 1990-х годов [45], или кебаб в Бангладеше [4, 40].

Несмотря на пищевую ценность, необходимы токсикологические исследования, так как артемия обитает в гипергалинных водоемах, где возможно накопление ксенобиотиков, также требуется оценка аллергенности — теоретически возможны перекрестные реакции с ракообразными.

В других областях жизнедеятельности

Разрабатываются косметические средства на основе цист артемий. К.Н. Шишляков с соавторами, доказали⁹, что биоцидная составляющая оболочки, благодаря которой цисты остаются защищенными от различных факторов внешней среды, может эффективно использоваться для ухода за кожей [6].

Экстракт артемий используется в косметике и средствах для защиты от солнечного света. Иранскими учеными было изучено влияния экстракта артемий на пролиферацию клеток, старение

⁶ Добрынина Н.А. Патент WO2016039656A1. Сухая форма биологически активной добавки на основе цист рачка *Artemia salina*. Опубликовано: 17.03.2016.

⁷ Осипчук А.Ф. Патент РФ № 2340215. Биологически активная добавка на основе цист рачка *Artemia salina* и продукт для наружного или внутреннего применения на её основе. Опубликовано: 10.12.2008.

⁸ Иванков А.И., Таранов А.Г. Патент РФ № 2317714. Биологически активная добавка на основе цист, или науплий, или взрослых особей рачка *Artemia salina* для наружного или внутреннего применения. Опубликовано: 27.02.2008.

⁹ Шишляков К.Н., Иванков А.И., Таранов А.Г. Патент РФ № 2404786. Способ получения экстракта из цист, или науплий, или взрослых особей рачка *Artemia salina* для наружного или внутреннего применения. Опубликовано: 27.11.2010.

и синтез коллагена фибробластами человека в нормальных и индуцированных старением условиях. Полученные результаты показали, что некоторые фракции экстракта артемии могут нейтрализовать окислительное повреждение, вызванное действием H_2O_2 в фибробластах путем стимуляции экспрессии коллагена I типа. В ходе этого исследования мы обнаружили, что экстракт артемии и его частично очищенные белковые фракции оказывают омолаживающее действие в виде стимуляции пролиферации клеток и омолаживающего действия. Эти эффекты сопровождалась стимуляцией экспрессии коллагена I типа в обработанных клетках. Экстракты артемии стимулируют пролиферацию фибробластов, синтез коллагена и замедляют старение клеток. Данные подтверждают антивозрастной эффект этого продукта для возможного применения в будущем [46].

Экстракт артемии содержит биологически активные вещества, которые ускоряют метаболизм клеток кожи и пролиферацию клеток эпидермиса. Эти данные свидетельствуют о том, что экстракт артемии может оказывать омолаживающее воздействие на клетки, а также сочетаться с другими антивозрастными средствами [46].

Артемия может использоваться в фармакологии в качестве сырья для получения различных лекарственных препаратов. Артемия — удобный тест-объект в токсикологии. Значительна роль артемий в образовании лечебных грязей [47].

Артемию можно рассматривать как модельный организм, предлагающий многочисленные преимущества для всесторонних и междисциплинарных исследований с использованием морфологических или молекулярных методов. Поскольку извлечение ДНК является важным этапом любого молекулярного эксперимента, был разработан новый быстрый и экономически эффективный метод извлечения ДНК из взрослой артемии [48].

Цисты артемии богаты хитозаном, благодаря чему их применяют в качестве органического удобрения для подкормки и профилактической защиты растений: комнатных цветов, рассады. Например, биоинсектицидный препарат «Артемия», хитозановый стимулятор роста растений «СЛОКС экоАртемия» и др. [3, 36].

Таким образом, артемия может решать широкий спектр задач в промышленном производстве. Основные направления применения артемии представлены на рисунке 2.

Рис. 2. Основные направления применения Артемии

Fig. 2. Main areas of application of Artemia



Выводы/Conclusions

Артемия, особенно ее науплии, остается незаменимым стартовым кормом в мировой аквакультуре для личинок креветок и мальков более 85% видов морских рыб. Артемии отличаются высокой пищевой ценностью и уникальным составом жирных кислот, который оказывает стимулирующее воздействие на рост и выживаемость рыб на ранних стадиях постэмбрионального развития.

Несмотря на появление искусственных заменителей, биологическая полноценность, удобство хранения в виде цист и способность оживших науплий стимулировать охотничий инстинкт делают артемию практически незаменимой.

Использование биомассы артемии и продуктов ее переработки (мука, липидные концентраты) в кормлении сельскохозяйственных животных представляет собой перспективное направление для повышения питательности рационов. Как богатый источник полноценного белка, каротиноидов (астаксантина), витаминов и микроэлементов, артемия может служить эффективной кормовой добавкой для птицы.

Однако широкое применение в этом сегменте пока сдерживается высокой стоимостью сырья по сравнению с традиционными кормами (рыбная мука, соя) и необходимостью более масштабных производственных и научных испытаний для оптимизации норм ввода и экономической целесообразности.

Рынок производства артемии характеризуется высокой степенью географической концентрации и волатильности. Он структурирован вокруг нескольких ключевых природных мест обитания (США, Китай, Россия и Казахстан), однако это делает его уязвимым к региональным климатическим и экологическим кризисам. Чрезмерный вылов и нарушение экосистем ведут к истощению природных популяций.

Альтернативное прудовое культивирование, хотя и более управляемо, требует значительных затрат и конкурирует за земельные ресурсы.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Научный обзор подготовлен в рамках выполнения исследований по государственному заданию Научно-исследовательских работ № FGUS-2024-0002 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Боленченко О.П., Ребезов Я.М. Возможности использования артемии (Обзор, часть 1). *Аграрная наука*. 2026; (4): 110–119.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-110-119>.
2. Кумсков С.Д., Пищенко Е.В. Использование артемии для кормления разных видов рыб: обзор. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2025; 19(7): 513–522.
<https://doi.org/10.33920/sel-09-2507-05>
3. Van Stappen G., Sorgeloos P., Rombaut G. (eds.). Manual on *Artemia* production and use. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 702. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024; xviii, 190. ISBN 978-92-5-138692-7
<https://doi.org/10.4060/cd0313en>
4. Ogburn N.J. *et al.* Agricultural wastes for brine shrimp *Artemia* production: A review. *Reviews in Aquaculture*. 2023; 15(3): 1159–1178.
<https://doi.org/10.1111/raq.12784>
5. Лукерина Г.В., Пяткова Я.С., Сурков Д.А., Мазникова О.А. Качественная характеристика донных цист артемии (*Artemia* leach, 1819) в гипергалинных озерах Алтайского края. *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2022; 5(4): 18–34.
https://doi.org/10.47921/2619-1024_2022_5_4_18
6. Веснина Л.В., Клепиков Р.А., Пищенко Е.В., Морузи И.В. Продуктивность цист рачка *Artemia* leach, 1819 в гипергалинных озерах Алтайского края. Монография. Новосибирск: Золотой колос. 2021; 147. ISBN 978-5-94477-297-8 EDN LLIVWM
7. Prusińska M. *et al.* Effect of feeding barbel larvae (*Barbus barbus* (L, 1758)) *Artemia* sp. nauplii enriched with PUFAs on their growth and survival rate, blood composition, alimentary tract histological structure and body chemical composition. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100492.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100492>
8. Ковачева Н.П., Литвиненко Л.И., Саенко Е.М., Жигин А.В., Кряхова Н.В., Семик А.М. Современное состояние и перспективы развития аквакультуры артемии в России. *Труды ВНИРО*. 2019; 178: 150–171.
<https://doi.org/10.36038/2307-3497-2019-178-150-171>
9. Léger P., Bengtson D.A., Simpson K.L., Sorgeloos P. The Use and Nutritional Value of *Artemia* as a Food Source. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 1986; 24: 521–623.
10. Stael M., Sanggontanagit T., Van Ballaer E., Puwapanich N., Tunsutapanich A., Lavens P. Decapsulated cysts and *Artemia* flakes as alternative food sources for the culture of *Penaeus monodon* postlarvae. Lavens P., Jaspers E., Roelants I. (eds.). *Larvi'95–Fish & Shellfish Larviculture Symposium*. Gent, Belgium: European Aquaculture Society. 1995; 342–345.
11. Brintha M., Pavithradevi V., Puspha G. Use of brine shrimp, *Artemia* spp., in larval crustacean nutrition: A Review. *International Journal of Current Science Research*. 2017; 3(2): 1145–1155.
12. Łączyńska B. *et al.* Effect of age, size and digestive tract development on weaning effectiveness in crucian carp, *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758). *Journal of Applied Ichthyology*. 2016; 32: 866–872.
<https://doi.org/10.1111/jai.13100>
13. McKay W., Jeffs A. Optimization of *Artemia* Feed Regimes for Larval Giant Kōkōpu (*Galaxias argenteus*). *Fishes*. 2023; 8(4): 183.
<https://doi.org/10.3390/fishes8040183>
14. Hekimoglu M.A., Süzer C., Kop A., Saka Ş., Firat K. Comparison of Ontogenic Development and Digestive Enzymes in Ornamental Goldfish (*Carassius auratus auratus* L.) Larvae Fed with Decapsulated Cysts and Nauplii of *Artemia*. *Pakistan Journal of Zoology*. 2014; 46(3): 669–676.
15. Ramena Y. *et al.* Insights into the Increased Dietary Levels of Brine Shrimp *Artemia franciscana* co fed with Microparticle Diets in the Rearing of *Litopenaeus vannamei*. *Global Journal of Nutrition & Food Science*. 2025; 5(4).
<https://doi.org/10.33552/GJNFS.2025.05.000618>
16. El-Dahhar A.A., Rashwan R.S., El-Zaeem S.Y., Shahin S.A., Mourad M.M., El Basuini M.F. Evaluation of the nutritional value of *Artemia* nauplii for European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) larvae. *Aquaculture and Fisheries*. 2024; 9(1): 78–84.
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.03.014>

FUNDING:

This scientific review was prepared as part of the research carried out under the state assignment for scientific research work No. FGUS-2024-0002 of the V. M. Gorbatoev Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

1. Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Boleshenko O.P., Rebezov Ya.M. Possibilities of using *Artemia* (Review, Part 1). *Agrarian science*. 2026; (4): 110–119 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-405-04-110-119>.
2. Kumskov S.D., Pishchenko E.V. The use of artemia for feeding different fish species: review. *Fish Breeding and Fisheries*. 2025; 19(7): 513–522 (in Russian).
<https://doi.org/10.33920/sel-09-2507-05>
3. Van Stappen G., Sorgeloos P., Rombaut G. (eds.). Manual on *Artemia* production and use. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 702. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024; xviii, 190. ISBN 978-92-5-138692-7
<https://doi.org/10.4060/cd0313en>
4. Ogburn N.J. *et al.* Agricultural wastes for brine shrimp *Artemia* production: A review. *Reviews in Aquaculture*. 2023; 15(3): 1159–1178.
<https://doi.org/10.1111/raq.12784>
5. Lukerina G.V., Pyatkova Ya.S., Surkov D.A., Maznikova O.A. Qualitative characteristics of bottom *Artemia* cysts in hyperhaline lakes of the Altai Territory. *Aquatic Bioresources & Environment*. 2022; 5(4): 18–34 (in Russian).
https://doi.org/10.47921/2619-1024_2022_5_4_18
6. Vesnina L.V., Klepikov R.A., Pishchenko Ye.V., Moruzi I.V. Cyst productivity of the crustacean *Artemia* leach, 1819 in hypersaline lakes of Altai Krai. Monograph. Novosibirsk: Zolotoy kolos. 2021; 147 (in Russian). ISBN 978-5-94477-297-8 EDN LLIVWM
7. Prusińska M. *et al.* Effect of feeding barbel larvae (*Barbus barbus* (L, 1758)) *Artemia* sp. nauplii enriched with PUFAs on their growth and survival rate, blood composition, alimentary tract histological structure and body chemical composition. *Aquaculture Reports*. 2020; 18: 100492.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100492>
8. Kovacheva N.P., Litvinenko L.I., Saenko E.M., Zhigin A.V., Kryahova N.V., Semik A.M. Current state and prospects of aquaculture artemia in Russia. *Trudy VNIRO*. 2019; 178: 150–171 (in Russian).
<https://doi.org/10.36038/2307-3497-2019-178-150-171>
9. Léger P., Bengtson D.A., Simpson K.L., Sorgeloos P. The Use and Nutritional Value of *Artemia* as a Food Source. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 1986; 24: 521–623.
10. Stael M., Sanggontanagit T., Van Ballaer E., Puwapanich N., Tunsutapanich A., Lavens P. Decapsulated cysts and *Artemia* flakes as alternative food sources for the culture of *Penaeus monodon* postlarvae. Lavens P., Jaspers E., Roelants I. (eds.). *Larvi'95–Fish & Shellfish Larviculture Symposium*. Gent, Belgium: European Aquaculture Society. 1995; 342–345.
11. Brintha M., Pavithradevi V., Puspha G. Use of brine shrimp, *Artemia* spp., in larval crustacean nutrition: A Review. *International Journal of Current Science Research*. 2017; 3(2): 1145–1155.
12. Łączyńska B. *et al.* Effect of age, size and digestive tract development on weaning effectiveness in crucian carp, *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758). *Journal of Applied Ichthyology*. 2016; 32: 866–872.
<https://doi.org/10.1111/jai.13100>
13. McKay W., Jeffs A. Optimization of *Artemia* Feed Regimes for Larval Giant Kōkōpu (*Galaxias argenteus*). *Fishes*. 2023; 8(4): 183.
<https://doi.org/10.3390/fishes8040183>
14. Hekimoglu M.A., Süzer C., Kop A., Saka Ş., Firat K. Comparison of Ontogenic Development and Digestive Enzymes in Ornamental Goldfish (*Carassius auratus auratus* L.) Larvae Fed with Decapsulated Cysts and Nauplii of *Artemia*. *Pakistan Journal of Zoology*. 2014; 46(3): 669–676.
15. Ramena Y. *et al.* Insights into the Increased Dietary Levels of Brine Shrimp *Artemia franciscana* co fed with Microparticle Diets in the Rearing of *Litopenaeus vannamei*. *Global Journal of Nutrition & Food Science*. 2025; 5(4).
<https://doi.org/10.33552/GJNFS.2025.05.000618>
16. El-Dahhar A.A., Rashwan R.S., El-Zaeem S.Y., Shahin S.A., Mourad M.M., El Basuini M.F. Evaluation of the nutritional value of *Artemia* nauplii for European seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) larvae. *Aquaculture and Fisheries*. 2024; 9(1): 78–84.
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.03.014>

17. González R., Celada J.D., González A., García V., Carral J.M., Sáez-Royuela M. Stocking density for the intensive rearing of juvenile crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Astacidae), using *Artemia* nauplii to supplement a dry diet from the onset of exogenous feeding. *Aquaculture International*. 2010; 18(3): 371–378. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9250-x>
18. Immanuel G., Palavesam A., Petermarian M. Effects of Feeding Lipid Enriched *Artemia* nauplii on Survival, Growth, Fatty Acids and Stress Resistance of Postlarvae *Penaeus indicus*. *Asian Fisheries Science*. 2001; 14: 377–388. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2001.14.4.003>
19. Wan-Loy C. Live Feeds in Marine Aquaculture. *Journal of Applied Phycology*. 2004; 16(1): 77–78. <https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000019141.28971.38>
19. Støttrup J., McEvoy L.A. (eds.). Live feeds in marine aquaculture. Oxford: Blackwell. 2003; 318. ISBN 0-632-05495-6
20. Hanaee J., Agh N., Hanaee M., Delazar A., Sarker S.D. Studies on the enrichment of *Artemia urmiana* cysts for improving fish food value. *Animal Feed Science and Technology*. 2005; 120(1–2): 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2005.01.010>
21. Venero J.A., Davis D.A., Lim C. Use of Plant Protein Sources in Crustacean Diets. Lim C., Webster C.D., Lee C.-S. (eds.). Alternative Protein Sources in Aquaculture Diets. CRC Press. 2008; 163–203. <https://doi.org/10.1201/9781003421214-7>
22. Koca S.B., Uzunmehmetoglu O.Y., Yazicioglu B. Effects of enriched *artemia* on growth and survival of juvenile freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch. 1823). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 2015; 14(1): 87–98. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2018.114425>
23. Le C.H.-b. The effect of enrichment on the fatty acid composition of *Artemia salina*. Final Project 2014. United Nations University Fisheries Training Programme, Iceland. 2015; 29.
24. Herawati V.E., Hutabarat H., Radjasa O.K. Nutritional Content of *Artemia* sp. Fed with *Chaetoceros calcitrans* and *Skeletonema costatum*. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2014; 21(4): 166–172. <https://doi.org/10.4308/hjb.21.4.166>
25. Романова Е.М., Шленкина Т.М., Романов В.В., Фазилов Э.Б. Жирнокислотный состав артемии при обогащении биологически активными веществами. *Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии*. 2023; (1): 168–174. EDN LKSIEU
26. Tonheim S.K., Koven W., Rønnestad I. Enrichment of *Artemia* with free methionine. *Aquaculture*. 2000; 190(3–4): 223–235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00402-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00402-6)
27. Monroig Ó., Navarro J.C., Amat F., Hontoria F. Enrichment of *Artemia* nauplii in vitamin A, vitamin C and methionine using liposomes. *Aquaculture*. 2007; 269(1–4): 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.056>
28. Adloo M.N., Matinfar A., Sourinezhad I. Effects of Feeding Enriched *Artemia franciscana* with HUFA, Vitamin C and E on Growth Performance, Survival and Stress Resistance of Yellowfin Seabream Larvae. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2012; 3(8): 1000157. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000157>
29. Fehér M. *et al.* The interactive effect of cobalt enrichment in *Artemia* on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*. 2013; 414–415: 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.031>
30. Moren M., Opstad I., Van der Meeren T., Hamre K. Iodine enrichment of *Artemia* and enhanced levels of iodine in Atlantic halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed the enriched *Artemia*. *Aquaculture Nutrition*. 2006; 12(2): 97–102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00386.x>
31. Nguyen V.T., Satoh S., Haga Y., Fushimi H., Kotani T. Effect of zinc and manganese supplementation in *Artemia* on growth and vertebral deformity in red sea bream (*Pagrus major*) larvae. *Aquaculture*. 2008; 285(1–4): 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.030>
32. Penglase S. *et al.* Increasing the level of selenium in rotifers (*Brachionus plicatilis* 'Cayman') enhances the mRNA expression and activity of glutathione peroxidase in cod (*Gadus morhua* L.) larvae. *Aquaculture*. 2010; 306(1–4): 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.011>
33. Cavois-Rogacki T., Rolland A., Migaud H., Davie A., Monroig O. Enriching *Artemia* nauplii with selenium from different sources and interactions with essential fatty acid incorporation. *Aquaculture*. 2020; 520: 734677. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734677>
17. González R., Celada J.D., González A., García V., Carral J.M., Sáez-Royuela M. Stocking density for the intensive rearing of juvenile crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Astacidae), using *Artemia* nauplii to supplement a dry diet from the onset of exogenous feeding. *Aquaculture International*. 2010; 18(3): 371–378. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9250-x>
18. Immanuel G., Palavesam A., Petermarian M. Effects of Feeding Lipid Enriched *Artemia* nauplii on Survival, Growth, Fatty Acids and Stress Resistance of Postlarvae *Penaeus indicus*. *Asian Fisheries Science*. 2001; 14: 377–388. <https://doi.org/10.33997/j.afs.2001.14.4.003>
19. Wan-Loy C. Live Feeds in Marine Aquaculture. *Journal of Applied Phycology*. 2004; 16(1): 77–78. <https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000019141.28971.38>
19. Støttrup J., McEvoy L.A. (eds.). Live feeds in marine aquaculture. Oxford: Blackwell. 2003; 318. ISBN 0-632-05495-6
20. Hanaee J., Agh N., Hanaee M., Delazar A., Sarker S.D. Studies on the enrichment of *Artemia urmiana* cysts for improving fish food value. *Animal Feed Science and Technology*. 2005; 120(1–2): 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2005.01.010>
21. Venero J.A., Davis D.A., Lim C. Use of Plant Protein Sources in Crustacean Diets. Lim C., Webster C.D., Lee C.-S. (eds.). Alternative Protein Sources in Aquaculture Diets. CRC Press. 2008; 163–203. <https://doi.org/10.1201/9781003421214-7>
22. Koca S.B., Uzunmehmetoglu O.Y., Yazicioglu B. Effects of enriched *artemia* on growth and survival of juvenile freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch. 1823). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 2015; 14(1): 87–98. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2018.114425>
23. Le C.H.-b. The effect of enrichment on the fatty acid composition of *Artemia salina*. Final Project 2014. United Nations University Fisheries Training Programme, Iceland. 2015; 29.
24. Herawati V.E., Hutabarat H., Radjasa O.K. Nutritional Content of *Artemia* sp. Fed with *Chaetoceros calcitrans* and *Skeletonema costatum*. *HAYATI Journal of Biosciences*. 2014; 21(4): 166–172. <https://doi.org/10.4308/hjb.21.4.166>
25. Romanova E.M., Shlenkina T.M., Romanov V.V., Fazirov E.B. Fatty acid composition of *Artemia* when enriched with biologically active substances. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; (1): 168–174 (in Russian). EDN LKSIEU
26. Tonheim S.K., Koven W., Rønnestad I. Enrichment of *Artemia* with free methionine. *Aquaculture*. 2000; 190(3–4): 223–235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00402-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00402-6)
27. Monroig Ó., Navarro J.C., Amat F., Hontoria F. Enrichment of *Artemia* nauplii in vitamin A, vitamin C and methionine using liposomes. *Aquaculture*. 2007; 269(1–4): 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.02.056>
28. Adloo M.N., Matinfar A., Sourinezhad I. Effects of Feeding Enriched *Artemia franciscana* with HUFA, Vitamin C and E on Growth Performance, Survival and Stress Resistance of Yellowfin Seabream Larvae. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2012; 3(8): 1000157. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000157>
29. Fehér M. *et al.* The interactive effect of cobalt enrichment in *Artemia* on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*. 2013; 414–415: 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.031>
30. Moren M., Opstad I., Van der Meeren T., Hamre K. Iodine enrichment of *Artemia* and enhanced levels of iodine in Atlantic halibut larvae (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed the enriched *Artemia*. *Aquaculture Nutrition*. 2006; 12(2): 97–102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2006.00386.x>
31. Nguyen V.T., Satoh S., Haga Y., Fushimi H., Kotani T. Effect of zinc and manganese supplementation in *Artemia* on growth and vertebral deformity in red sea bream (*Pagrus major*) larvae. *Aquaculture*. 2008; 285(1–4): 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.030>
32. Penglase S. *et al.* Increasing the level of selenium in rotifers (*Brachionus plicatilis* 'Cayman') enhances the mRNA expression and activity of glutathione peroxidase in cod (*Gadus morhua* L.) larvae. *Aquaculture*. 2010; 306(1–4): 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.011>
33. Cavois-Rogacki T., Rolland A., Migaud H., Davie A., Monroig O. Enriching *Artemia* nauplii with selenium from different sources and interactions with essential fatty acid incorporation. *Aquaculture*. 2020; 520: 734677. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734677>

34. Clegg J.S., Trotman C.N.A. Physiological and Biochemical Aspects of *Artemia* Ecology. Abatzopoulos Th.J., Beardmore J.A., Clegg J.S., Sorgeloos P. (eds.). *Artemia: Basic and Applied Biology*. Dordrecht: Springer. 2002; 129–170.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-0791-6_3
35. Литвиненко А.И. (ред.). Биоразнообразие артемии в странах СНГ: современное состояние ее запасов и их использование. *Международный научно-исследовательский семинар. Сборник докладов*. Тюмень: Госрыбцентр. 2004; 161. ISBN 5-98160-009-8
36. Соловов В.П., Подуровский М.А., Ясюченя Т.Л. Жаброног артемия: история и перспективы использования ресурсов. Барнаул. 2001; 144. ISBN 5-85458-020-9 EDN NCXJOK
37. Мальцева Н.А., Ядрищенская О.А. Нетрадиционные источники белка для птицы. *Новые подходы к решению актуальных ветеринарно-санитарных и зоотехнических проблем в птицеводстве на современном этапе. Материалы Международной научно-практической конференции*. СПб.: Астерион. 2011; 187–192. EDN TTPJUR
38. Руднева И.И. Артемия. Перспективы использования в народном хозяйстве. Киев: Наукова думка. 1991; 138. ISBN 5-12-002527-7
39. Ядрищенская О.А., Мальцев А.Б., Мальцева Н.А., Якунина Н.И. Влияние цист артемии на продуктивные качества бройлеров. *Кормовые ресурсы Западной Сибири и их рациональное использование. Сборник научных трудов*. Омск. 2005; 118–123. EDN VDNFFH
40. Zarei A. Artemia, a New Source of Animal Protein Ingredient in Poultry Nutrition. Matovic M.D. (ed.). *Biomass Now - Sustainable Growth and Use*. IntechOpen. 2013.
<https://doi.org/10.5772/53610>
41. Zarei A., Shivazad M., Mirhadi A. Use of Artemia Meal as a Protein Supplement in Broiler Diet. *International Journal of Poultry Science*. 2006; 5(2): 142–148.
42. Aghakhanian P., Zarei A., Lotfollahian H., Eila N. Apparent and true amino acid digestibility of artemia meal in broiler chicks (Short communication). *South African Journal of Animal Science*. 2009; 39(2): 158–162.
<https://doi.org/10.4314/sajas.v39i2.44389>
43. Gulbrandsen J., Bjerkeng B., Kim J., Scott T.M., Rust M.B. Post mortem changes in the concentration of free amino acids in *Artemia franciscana* at different temperatures. *Aquaculture*. 2009; 291(1–2): 111–114.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.011>
44. Хажибаев К.Г., Бердимбетова Г.Е., Карлыбаева Б.П., Ощепкова Ю.И. Изучение макро и микронутриентов цист артемии Аральского моря. *Universum: химия и биология*. 2019; (9): 19–24. EDN IKWYPW
45. Hoa N.V., Sorgeloos P. Brine shrimp *Artemia* as a direct human food. *World Aquaculture*. 2020; 51(3): 24–25.
46. Vaseli-Hagh N., Deezagi A., Shahraki M.K. Anti-aging effects of the proteins from artemia extract on human fibroblasts cell proliferation and collagen expression in induced aging conditions. *Annals of Biotechnology*. 2018; 3: 1015.
<https://doi.org/10.33582/2637-4927/1015>
47. Матвеева З.С. Изучение биохимического состава цист *Artemia salina* из различных географических источников. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология»*. 2003; 16(2): 131–133.
48. Manaffar R. et al. A New Method for Rapid DNA Extraction from *Artemia* (Branchiopoda, Crustacea). *International Journal of Bioengineering and Life Sciences*. 2010; 4(1): 102–106.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1058811>
34. Clegg J.S., Trotman C.N.A. Physiological and Biochemical Aspects of *Artemia* Ecology. Abatzopoulos Th.J., Beardmore J.A., Clegg J.S., Sorgeloos P. (eds.). *Artemia: Basic and Applied Biology*. Dordrecht: Springer. 2002; 129–170.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-0791-6_3
35. Litvinenko A.I. (ed.). Artemial Biodiversity in the Newly Independent States: Current Global Resources and their Sustainable Exploitation. *NATO advanced research workshop (ARW). Proceedings*. Tyumen: Gosrybtsentr. 2004; 161 (in Russian). ISBN 5-98160-009-8
36. Solovov V.P., Podurovskiy M.A., Yasyuchenya T.L. Branchiopod *Artemia*: history and prospects for resource use. Barnaul. 2001; 144 (in Russian). ISBN 5-85458-020-9 EDN NCXJOK
37. Mal'tseva N.A., Yadrishchenskaya O.A. Non-traditional sources of protein for poultry. *New approaches to solving current veterinary-sanitary and zootechnical problems in poultry farming at the current stage. Proceedings of the International scientific and practical conference*. St. Petersburg: Asterion. 2011; 187–192 (in Russian). EDN TTPJUR
38. Rudneva I.I. *Artemia*. Prospects for use in the national economy. Kyiv: Naukova dumka. 1991; 138 (in Russian). ISBN 5-12-002527-7
39. Yadrishchenskaya O.A., Mal'tsev A.B., Mal'tseva N.A., Yakunina N.I. The effect of *Artemia* cysts on broiler performance. *Forage resources of Western Siberia and their rational use. Collection of scientific papers*. Omsk. 2005; 118–123 (in Russian). EDN VDNFFH
40. Zarei A. Artemia, a New Source of Animal Protein Ingredient in Poultry Nutrition. Matovic M.D. (ed.). *Biomass Now - Sustainable Growth and Use*. IntechOpen. 2013.
<https://doi.org/10.5772/53610>
41. Zarei A., Shivazad M., Mirhadi A. Use of Artemia Meal as a Protein Supplement in Broiler Diet. *International Journal of Poultry Science*. 2006; 5(2): 142–148.
42. Aghakhanian P., Zarei A., Lotfollahian H., Eila N. Apparent and true amino acid digestibility of artemia meal in broiler chicks (Short communication). *South African Journal of Animal Science*. 2009; 39(2): 158–162.
<https://doi.org/10.4314/sajas.v39i2.44389>
43. Gulbrandsen J., Bjerkeng B., Kim J., Scott T.M., Rust M.B. Post mortem changes in the concentration of free amino acids in *Artemia franciscana* at different temperatures. *Aquaculture*. 2009; 291(1–2): 111–114.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.011>
44. Khajibayev Q., Berdimbetova G., Qarlibayeva B., Oshchepkova Yu. Study of macro- and micronutrients of artemia cysts in the Aral Sea. *Universum: khimiya i biologiya*. 2019; (9): 19–24 (in Russian). EDN IKWYPW
45. Hoa N.V., Sorgeloos P. Brine shrimp *Artemia* as a direct human food. *World Aquaculture*. 2020; 51(3): 24–25.
46. Vaseli-Hagh N., Deezagi A., Shahraki M.K. Anti-aging effects of the proteins from artemia extract on human fibroblasts cell proliferation and collagen expression in induced aging conditions. *Annals of Biotechnology*. 2018; 3: 1015.
<https://doi.org/10.33582/2637-4927/1015>
47. Matveyeva Z.S. Study of the biochemical composition of *Artemia salina* cysts from various geographical sources. *Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University Series "Biology"*. 2003; 16(2): 131–133 (in Russian).
48. Manaffar R. et al. A New Method for Rapid DNA Extraction from *Artemia* (Branchiopoda, Crustacea). *International Journal of Bioengineering and Life Sciences*. 2010; 4(1): 102–106.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1058811>

ОБ АВТОРАХ:

Наталья Анатольевна Горбунова¹

кандидат технических наук, ученый секретарь
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Максим Борисович Ребезов¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Ольга Петровна Боленко²

кандидат технических наук,
заместитель директора по инновациям
o.boleshenko@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3872-4699>

Ярослав Максимович Ребезов³

кандидат биологических наук, научный сотрудник,
Сектор прикладной биотехнологии;
Учебно-научная исследовательская лаборатория
химико-технологического института
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

¹Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт
зерна и продуктов его переработки — филиал ФГБНУ
«ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова»,
Дмитровское шоссе, 11, Москва, 127434, Россия

³Новгородский государственный университет имени
Ярослава Мудрого,
ул. Большая Санкт-Петербургская, 41, Великий Новгород,
173003, Россия

ABOUT THE AUTHORS:

Natalia Anatolyevna Gorbunova¹

Candidate of Technical sciences, Scientific Secretary
n.gorbunova@fncps.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4249-9316>

Maksim Borisovich Rebezov¹

Doctor of Agricultural sciences, Professor,
Chief Researcher
m.rebezov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Olga Petrovna Boleshenko²

Candidate of Technical sciences,
Deputy Director for Innovation
o.boleshenko@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3872-4699>

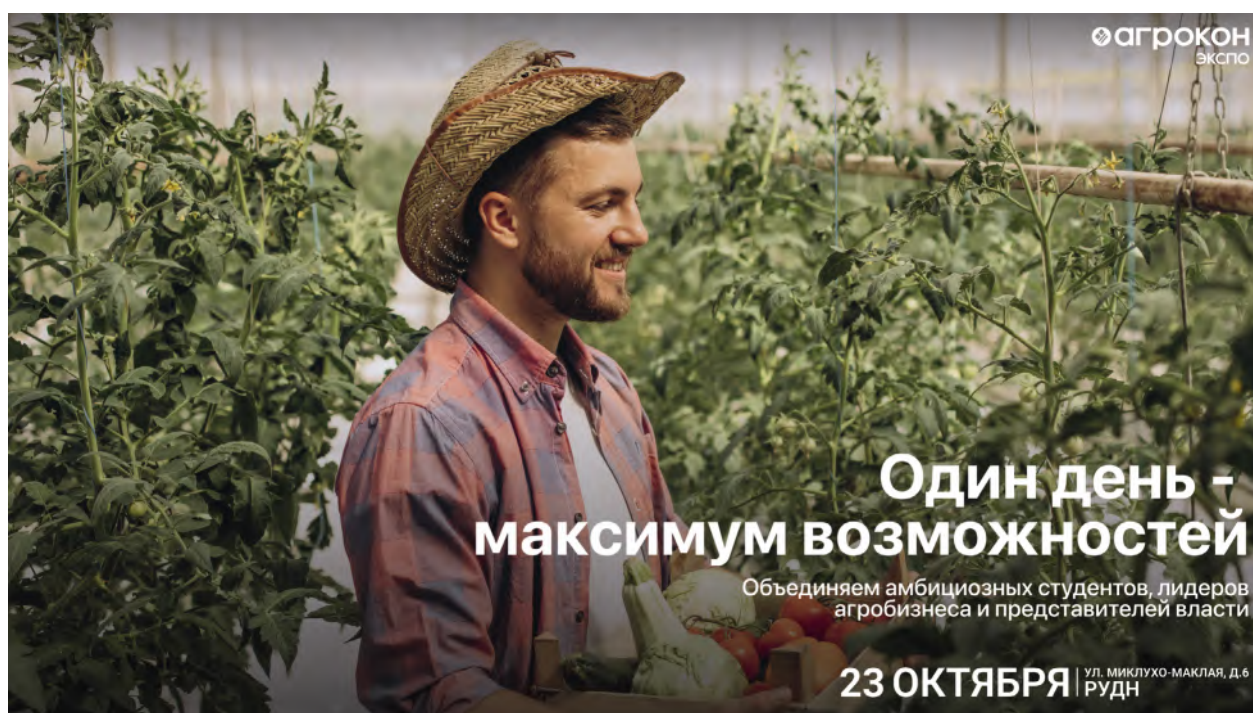
Yaroslav Maksimovich Rebezov³

Candidate of biological sciences,
Research Fellow, Applied Biotechnology Sector;
Educational and scientific research laboratory
of the Institute of Chemical Technology
yaroslavreb@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1121-8139>

¹Gorbatov Research Center for Food Systems,
26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

²VNIIZ — Branch of Gorbatov Research Center for Food
Systems,
11 Dmitrovskoe Highway, Moscow, 127434, Russia

³Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,
41 Bolshaya Sankt-Peterburgskaya st., Veliky Novgorod,
173003, Russia



УДК 637.146 + 546.722

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-129-137

А.В. Блинов¹А.М. Серов¹А.С. Аскерова¹А.В. Самоволов¹З.А. Рехман¹ ✉М.Б. Ребезов^{2, 3}¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ zafarehman@yandex.ru

Поступила в редакцию: 06.02.2026

Одобрена после рецензирования: 09.04.2026

Принята к публикации: 24.04.2026

© Блинов А.В., Серов А.М., Аскерова А.С., Самоволов А.В., Рехман З.А., Ребезов М.Б.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-129-137

Andrey V. Blinov¹Alexander M. Serov¹Alina S. Askerova¹Artem A. Samovolov¹Zafar A. Rekhman¹ ✉Maksim B. Rebezov^{2, 3}¹North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ zafarehman@yandex.ru

Received by the editorial office: 06.02.2026

Accepted in revised: 09.04.2026

Accepted for publication: 24.04.2026

© Blinov A.V., Serov A.M., Askerova A.S., Samovolov A.V., Rekhman Z.A., Rebezov M.B.

Исследование параметров кисломолочного продукта, обогащенного хелатной формой эссенциального микроэлемента железа

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Дефицит железа является распространенной формой микронутриентной недостаточности, что обосновывает разработку продуктов питания, обогащенных его высокоусвояемыми формами. Кисломолочная продукция представляет перспективную основу для введения хелатных комплексов эссенциальных микроэлементов.

Методы. Синтезирован аскорбатопиридоксинат железа (II) взаимодействием аскорбиновой кислоты, пиридоксина гидрохлорида и сульфата железа (II). Пастеризованное молоко обогащали комплексом в количествах, эквивалентных 10–100% суточной нормы железа (1,8–18,0 мг/дм³), и сквашивали *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. В процессе ферментации определяли pH и титруемую кислотность, в готовом продукте – органолептические показатели и количество колониеобразующих единиц (КОЕ) молочнокислых микроорганизмов.

Результаты. Исследованы оптические свойства аскорбатопиридоксината железа, сделан вывод о наличии характерных полос поглощения в диапазоне от 220 до 324 нм. Установлено, что внесение аскорбатопиридоксината железа во всем исследованном диапазоне концентраций не оказывает статистически значимого влияния на динамику кислотообразования (pH 4,6–6,8; титруемая кислотность 15–90 °Т) и органолептические свойства продукта. Впервые выявлено стимулирующее действие (в исследованных условиях) комплекса на рост *L. delbrueckii*: количество КОЕ в обогащенных образцах (3,7×10⁷ КОЕ/см³) превышало контрольные значения (2,7×10⁷ КОЕ/см³), с максимальным эффектом при дозировке 9,0 мг/дм³ (50% суточной нормы железа). Полученные данные обосновывают перспективность использования аскорбатопиридоксината железа для создания функциональных кисломолочных продуктов, направленных на профилактику железодефицитных состояний.

Ключевые слова: обогащение, хелатные комплексы, эссенциальные микроэлементы, железо, сквашивание, кисломолочный продукт

Для цитирования: Блинов А.В., Серов А.М., Аскерова А.С., Самоволов А.В., Рехман З.А., Ребезов М.Б. Исследование параметров кисломолочного продукта, обогащенного хелатной формой эссенциального микроэлемента железа. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 129–137.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-129-137>

Study of parameters of fermented milk product enriched with chelate form of essential microelement iron

ABSTRACT

Relevance. Iron deficiency is a prevalent form of micronutrient inadequacy, which justifies the development of food products fortified with its highly bioavailable forms. Fermented milk products represent a promising matrix for the introduction of chelated complexes of essential trace elements.

Methods. Iron (II) ascorbatopyridoxinate was synthesized via the interaction of ascorbic acid, pyridoxine hydrochloride, and iron (II) sulfate. Pasteurized milk was fortified with the complex at levels equivalent to 10–100% of the recommended daily intake of iron (1.8–18.0 mg/dm³) and fermented with *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. During fermentation, pH and titratable acidity were monitored; the final product was assessed for organoleptic properties and the colony-forming unit (CFU) count of lactic acid bacteria.

Results. The optical properties of iron (II) ascorbatopyridoxinate were investigated, and the presence of characteristic absorption bands in the range of 220–324 nm was established. It was found that the addition of iron (II) ascorbatopyridoxinate across the entire studied concentration range exerted no statistically significant effect on acidification dynamics (pH 4.6–6.8; titratable acidity 15–90 °T) or the organoleptic characteristics of the product. A stimulatory effect of the complex on the growth of *L. delbrueckii* was observed for the first time (under the studied conditions): CFU counts in the fortified samples (3.7×10⁷ CFU/cm³) exceeded control values (2.7×10⁷ CFU/cm³), with the maximum effect at a dosage of 9.0 mg/dm³ (50% of the recommended daily intake of iron). The obtained data substantiate the potential of using iron (II) ascorbatopyridoxinate for the development of functional fermented milk products aimed at the prevention of iron deficiency conditions.

Key words: enrichment, chelate complexes, essential microelements, iron, fermentation, fermented milk product

For citation: Blinov A.V., Serov A.M., Askerova A.S., Samovolov A.V., Rekhman Z.A., Rebezov M.B. Study of parameters of fermented milk product enriched with chelate form of essential microelement iron. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 129–137 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-129-137>

Введение/Introduction

В России актуальна проблема недостатка эссенциальных микроэлементов, в частности железа [1, 2]. Дефицит Fe наблюдается у людей различных возрастов [3–7].

Железо играет важную роль в функционировании организмов [8–11]. Взрослым людям для нормальной жизнедеятельности необходимо получать 8–18 мг Fe в сутки [12]. Железо содержится почти во всех тканях и органах, участвует в процессах энергетического метаболизма и клеточного деления, входит в состав различных белков и ферментов [13–15]. Гепсидин регулирует обмен железа в организме, ускоряя его всасывание из пищи и обеспечивает его выработку макрофагами и клетками печени при недостатке или замедляя его усвоение при избытке [16, 17]. Дефицит железа влияет на сердечно-сосудистую, эндокринную систему и нервную ткань [18–21], приводит к железодефицитной анемии [22–24].

Неорганические соединения железа, такие как сульфаты или хлориды, обладают меньшей биодоступностью, чем органические комплексы [25–28].

С целью восстановления элементного баланса и профилактики микроэлементозов разрабатываются биологически активные добавки к пище и продукты питания, обогащенные хелатными комплексами [29–31].

В хелатной форме металл, окруженный лигандами, обладает большей биодоступностью и усвояемостью [32, 33].

Для нормального функционирования, наряду с микроэлементами, необходимы и витамины, участвующие во многих процессах жизнедеятельности организма человека [34–37].

Аскорбиновая кислота (Витамин С) обладает антиоксидантной активностью и способствует улучшению усвоения железа [38–40].

Пиридоксин (Витамин B_6) в организме человека способствует нормальной работе мозга, метаболизму эритроцитов, функционированию иммунной системы [41–45].

Молочные продукты, в частности кисломолочные, являются важной частью питания людей во всех возрастных группах [46–50], поэтому обогащение данного вида продукции новыми биодоступными формами микроэлементов является актуальной областью исследования. Несмотря на очевидную пользу, прямое введение эссенциальных микронутриентов в кисломолочную матрицу сопряжено с рисками: снижением активности заквасочных культур, изменением физико-химических и органолептических показателей. Следовательно, оценка физико-химических и бактериологических показателей обогащенных образцов становится критерием, определяющим технологическую и коммерческую состоятельность таких продуктов [51, 52].

В связи с важностью проблемы железодефицита населения было принято решение об обогащении кисломолочного продукта новым витаминно-минеральным комплексом — аскорбатопиридоксинатом железа, а также изучение его физико-химических, органолептических и микробиологических показателей.

Цель настоящей работы — синтез аскорбатопиридоксината железа и оценка его влияния на физико-химические, органолептические и микробиологические показатели кисломолочного продукта.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Синтез аскорбатопиридоксината железа проводили следующим образом: в дистиллированной воде при комнатной температуре смешивали аскорбиновую кислоту и пиридоксина гидрохлорид в соотношении 1:1, далее добавляли эквивалентное количество гидроксида бария 8-водного и добавляли сульфат железа (II) 7-водный [53]. Затем проводили очистку на центрифуге напольной высокоскоростной GYROZEN 1580R (Санкт-Петербург, Россия) три раза при 5000 об/мин в течение 4 минут для удаления из раствора комплекса побочного продукта (сульфата бария). Контроль остаточного содержания бария в очищенном растворе комплекса проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии; содержание бария не превышало 0,1 мг/кг.

Для изучения уникальных полос поглощения окрашенных комплексов проводили исследование оптических свойств методом оптической спектроскопии на установке UNICO 2100 (UNICO, США).

Активную кислотность среды исследовали с использованием pH-метра OHAUS ST300-B (OHAUS Corporation, Китай).

Титруемую кислотность определяли согласно ГОСТ 3624-98¹.

В рамках эксперимента использовали цельное молоко жирностью 3,2% (АО «Молочный комбинат «Ставропольский», Ставрополь, Россия).

Молоко, обогащенное хелатным комплексом², с использованием культуры *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Для приготовления кисломолочного продукта в лабораторных условиях использовали 1 дм³ цельного молока, предварительно нагрев его до 100°C на магнитной мешалке IKA C-MAG HS 7 с подогревом (ООО «Компания НВ-ЛАБ», Россия). После этого молоко охлаждали до температуры, соответствующей оптимальному развитию культуры *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (42 ± 2°C). 0,1 г заквасочной культуры *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* с активностью 0,1 и (Угличская биофабрика, Россия) заквашиваемого молока вносили в образец.

¹ ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности

² Структура полученного комплекса подтверждена методом ИК-спектроскопии (появление полос поглощения в области 500–600 см⁻¹, характерных для связи Fe–N и Fe–O)

В стаканы объемом 150 см³ наливали заквашиваемое молоко и образец аскорбатопиридоксината железа из расчета 10%, 30%, 50%, 70%, 100% (1,8 мг, 5,4 мг, 9,0 мг, 12,6 мг и 18,0 мг) от суточной дозы микроэлемента железа, которую потребляет организм взрослого человека.

Также подготавливали контрольный образец молока.

Опытные образцы молока с добавленной закваской и аскорбатопиридоксинатом железа инкубировали в термостате электрическом суховоздушном ТС-1/20 СПУ (ООО «Компания НВ-Лаб», Россия) при температуре 40 ± 2 °С. Сбраживание провели до образования кисломолочного сгустка (6 ч). После чего полученные образцы кисломолочного продукта охладили и хранили в холодильнике при 4 ± 2 °С до начала дальнейших исследований.

Исследование влияния аскорбатопиридоксината железа на органолептические характеристики молока и кисломолочной продукции проводили согласно ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011³. Количество привлекаемых экспертов для сенсорных испытаний продукции — 10 (все сотрудники Северо-Кавказского федерального университета, Ставрополь, Россия).

Исследование влияния аскорбатопиридоксината железа на рост и развитие бактерий *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* в кисломолочном продукте, на стандартной плотной питательной среде Агар MRS (Condalab, Испания) проводили согласно ГОСТ 33951-2016⁴. На плотную питательную среду добавляли 1 мл бактериальной суспензии в разведении 10⁻⁵. Через 24 часа образцы были извлечены из термостата, а колонии микрофлоры изучали путем подсчета микроорганизмов по формуле 1:

$$N = C \times n/V,$$

где N — количество микроорганизмов в пробе, КОЕ/г; C — количество колоний, подсчитанных на чашках; V — объем посева, мл; n — степень разведения.

Проводили микроскопирование исследуемых образцов кисломолочного продукта на тринокулярном микроскопе с иммерсионным объективом (×100) Levenhuk MED D45T (Levenhuk, Китай).

Сырье и реактивы, применяемые в данном исследовании, поставлялись в университет с документами, удостоверяющими показатели качества и безопасности.

Все измерения проводились в 3-кратной повторности, а оценку достоверности различий между контрольными и опытными образцами выполняли с помощью двухвыборочного t-критерия Стьюдента для независимых выборок, различия считались достоверными при p < 0.05.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе проводили исследование оптических свойств разработанного комплекса аскорбатопиридоксината железа, результаты представлены на рисунке 1.

В результате анализа спектров поглощения комплекса аскорбатопиридоксината железа можно сделать вывод о наличии трех полос на 220, 267 и 324 нм, которые связаны с электронными переходами в лигандах и возможным переносом заряда в хелатном комплексе. Полоса поглощения на 220 нм говорит о сохранении ароматической системы витамина B₆ при формировании соединения. Полоса на 324 нм также характеризует электронные переходы в пиридоксине. Стоит отметить, что максимум поглощения на 267 нм, вероятно, связан с суммарным вкладом лигандов в комплексообразование атома железа.

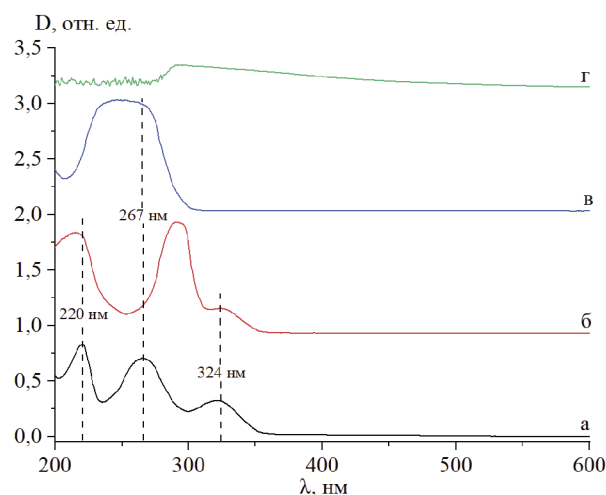
На первом этапе получили 6 образцов кисломолочного продукта: один контрольный и пять обогащенных, содержащих 1,8 мг, 5,4 мг, 9,0 мг, 12,6 мг и 18,0 мг (10 %, 30 %, 50 %, 70 % и 100 % суточной нормы потребления железа) аскорбатопиридоксината железа.

Результаты измерения физико-химических параметров представлены в таблице 1.

После анализа результатов, представленных в таблице 1, можно сделать вывод, что разработанный железосодержащий хелатный комплекс не оказывает значительного влияния на физико-химические показатели кисломолочного продукта. Полученные значения сопоставимы с контрольным образцом.

Рис. 1. Спектры поглощения тройного хелатного комплекса и исходных веществ: а — спектр поглощения аскорбатопиридоксината железа; б — спектр поглощения пиридоксина; в — спектр поглощения аскорбиновой кислоты; г — спектр поглощения сульфата железа

Fig. 1. Absorption spectra of the ternary chelate complex and the starting materials: a — absorption spectrum of iron ascorbatopyridoxine; b — absorption spectrum of pyridoxine; c — absorption spectrum of ascorbic acid; d — absorption spectrum of iron sulfate



³ ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки

⁴ ГОСТ 33951-2016 Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов

Таблица 1. Физико-химические показатели образцов

Table 1. Physicochemical properties of samples

№	Наименование образца	рН			Титруемая кислотность, °Т		
		Начало экспозиции	4 ч	6 ч	Начало экспозиции	4 ч	6 ч
1	Контроль	6,80 ± 0,07	4,78 ± 0,05	4,60 ± 0,05	15 ± 1	85 ± 5	90 ± 5
2	Образец с добавлением железа в количестве, эквивалентном 10% суточной нормы (1,8 мг/дм ³)	6,78 ± 0,07	4,79 ± 0,05	4,60 ± 0,05	15 ± 1	85 ± 5	90 ± 5
3	Образец с добавлением железа в количестве, эквивалентном 30% суточной нормы (5,4 мг/дм ³)	6,74 ± 0,07	4,78 ± 0,05	4,61 ± 0,05	15 ± 1	85 ± 5	90 ± 5
4	Образец с добавлением железа в количестве, эквивалентном 50% суточной нормы (9 мг/дм ³)	6,73 ± 0,07	4,81 ± 0,05	4,63 ± 0,05	15 ± 1	85 ± 5	90 ± 5
5	Образец с добавлением железа в количестве, эквивалентном 70% суточной нормы (12,6 мг/дм ³)	6,73 ± 0,07	4,80 ± 0,05	4,63 ± 0,05	15 ± 1	85 ± 5	90 ± 5
6	Образец с добавлением железа в количестве, эквивалентном 100% суточной нормы (18 мг/дм ³)	6,71 ± 0,07	4,83 ± 0,05	4,65 ± 0,05	15 ± 1	85 ± 5	90 ± 5

Примечание: различия между контрольным и опытными образцами статистически незначимы ($p > 0,05$, t-критерий Стьюдента)

Показатели активной кислотности среды в образцах с аскорбатопиридоксинатом железа находятся в диапазоне 6,71–6,78 при рН контрольного образца 6,80 (до начала экспозиции), 4,78–4,83 при рН контрольного образца 4,78 (через 4 часа после начала сквашивания), 4,60–4,65 при рН контрольного образца 4,6 (через 6 часов после начала сквашивания). Значение титруемой кислотности образцов вне зависимости от времени сквашивания не отличалась от контрольного образца и совпадает с диапазоном регламентированных значений для данной продукции⁵.

Далее проводили исследование влияния концентрации хелатного комплекса эссенциального микроэлемента железа на органолептические показатели кисломолочного продукта.

Анализ полученных данных показал, что все образцы кисломолочного продукта представляли собой однородную, вязкую, густую жидкость с небольшими комочками. Цвет образцов (молочно-белый) не менялся в зависимости от концентрации в них комплекса. Образцы обладали чистым кисломолочным вкусом и запахом, не имели посторонних запахов и привкусов.

Для исследования микробиологических показателей проводили микроскопию исследуемых образцов кисломолочного продукта.

Микроснимки кисломолочного продукта с добавлением аскорбатопиридоксината железа в различных концентрациях представлены на рисунке 2.

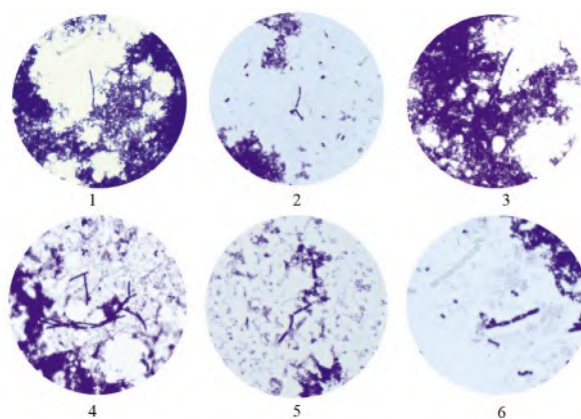
При микроскопии кисломолочных продуктов с добавлением хелатного комплекса аскорбатопиридоксината железа морфологических отклонений молочнокислых бактерий не наблюдалось.

Форма клеток в кисломолочном продукте — длинные и короткие палочки размером 3–40 мкм. В образцах с добавлением комплекса, наблюдается активный рост культуры *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, бактерии располагаются парами или в виде коротких цепочек.

Наиболее интенсивный рост отмечен в образцах с хелатным комплексом в концентрациях

Рис. 2. Микроснимки кисломолочного продукта с добавлением аскорбатопиридоксината железа с различной концентрацией:

1) 1,8 мг; 2) 5,4 мг 3) 9,0 мг; 4) 12,6 мг; 5) 18,0 мг 6) Контроль
Fig. 2. Micrographs of a fermented milk product with the addition of iron ascorbatopyridoxine with different concentrations: 1) 1.8 mg; 2) 5.4 mg; 3) 9.0 mg; 4) 12.6 mg; 5) 18.0 mg; 6) Control



9,0 мг и 12,6 мг (50 и 70% от рекомендуемой суточной дозы железа).

Проведено исследование влияния аскорбатопиридоксината железа на рост развитие бактерий *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* в кисломолочной продукте, на стандартных плотных питательных средах.

На рисунке 3 представлены фотографии чашек Петри с бактериальной культурой, а в таблице 2 — содержание КОЕ.

Таблица 2. Содержание КОЕ в образцах

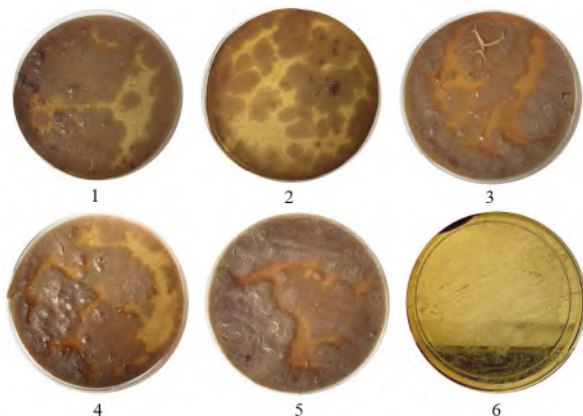
Table 2. CFU content in samples

Концентрация железа, мг	Содержание микроорганизмов, КОЕ/см ³
1,8	$3,8 \times 10^7$
5,4	$4,1 \times 10^7$
9,0	$4,2 \times 10^7$
12,6	$4,0 \times 10^7$
18,0	$3,8 \times 10^7$
Контроль	$2,7 \times 10^7$

⁵ ГОСТ 31981–2013 Йогурты. Общие технические условия

Рис. 3. Исследование влияния аскорбатопиридоксината железа на рост развитие бактерий *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* в кисломолочном продукте, на стандартных плотных питательных средах.
Концентрация железа: 1) 1,8 мг; 2) 5,4 мг 3) 9,0 мг; 4) 12,6 мг; 5) 18,0 мг 6) Контроль

Fig. 3. Study of the effect of iron ascorbatopyridoxine on the growth and development of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* bacteria in a fermented milk product, on standard dense nutrient media.
Concentration of the iron: 1) 1.8 mg; 2) 5.4 mg; 3) 9.0 mg; 4) 12.6 mg; 5) 18.0 mg; 6) Control



В образцах кисломолочного продукта с добавлением хелатного комплекса железа, наблюдался положительный рост бактериальной культуры *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Среднее количество КОЕ в образцах $\geq 3,7 \times 10^7$ КОЕ/см³. Количество КОЕ в образцах с добавлением железа, превышало количество КОЕ в контрольном образце ($2,7 \times 10^7$ КОЕ/см³).

Выводы/Conclusions

В рамках работы проведено исследование влияния различной концентрации аскорбатопиридоксината железа на физико-химические, органолептические и микробиологические показатели кисломолочного продукта.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10063, <https://rscf.ru/en/project/24-76-10063/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тангатарова С.Б., Жумаева А.Т., Абдуллаева Ж.Д. Биологическая значимость микроэлементов в организме человека. *Бюллетень науки и практики*. 2024; 10(7): 65–69. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/08>
2. Мильто И.В., Суходоло И.В., Прокопьева В.Д., Климентьева Т.К. Молекулярные и клеточные основы метаболизма железа у человека (обзор). *Биохимия*. 2016; 81(6): 725–742. EDN WHHFW
3. Румянцев А.Г. *et al.* Распространенность железодефицитных состояний и факторы, на нее влияющие. *Медицинский совет*. 2015; (6): 62–66. EDN UAUCWP
4. Мойсеенок А.Г. и др. Эссенциальность и дефицит железа в питании: углубление известной проблемы нутрициологии. *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2023; 16(2): 31–39. EDN UUKUUAU

В результате исследования осуществлен синтез тройного хелатного комплекса — аскорбатопиридоксината железа (II) — на основе аскорбиновой кислоты, пиридоксина гидрохлорида и сульфата железа (II). Установлено, что аскорбатопиридоксинат железа обладает полосоми поглощения в диапазоне от 220 до 324 нм, а полоса на 267 нм может говорить о суммарном вкладе органических лигандов в образование комплекса.

Показано, что его внесение в молоко в диапазоне 1,8–18,0 мг/дм³ (10–100% суточной нормы железа) не оказывает значимого влияния на динамику кислотообразования при сквашивании *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*: показатели pH на начало экспозиции находились в диапазоне 6,71–6,80, а через 6 часов сквашивания они варьировались в пределах от 4,60 до 4,65, а титруемая кислотность в пределах 15–90 °Т. Все образцы соответствовали контрольным значениям и требованиям ГОСТ 31981-2013. Обогащение не ухудшало органолептических свойств продукта.

Впервые установлено стимулирующее действие аскорбатопиридоксината железа на рост молочнокислых бактерий: среднее количество КОЕ в опытных образцах ($3,7 \times 10^7$ КОЕ/см³) превышало контроль ($2,7 \times 10^7$ КОЕ/см³) при отсутствии морфологических изменений клеток. Наиболее выраженный эффект отмечен при дозировке 9,0 мг/дм³ (50% суточной нормы). Токсического действия на заквасочную микрофлору не выявлено.

Совокупность полученных данных свидетельствует о перспективности применения аскорбатопиридоксината железа в технологии функциональных кисломолочных продуктов для профилактики железодефицитных состояний; оптимальной является дозировка 9,0–12,6 мг элементарного железа на 1 дм³ продукта.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 24-76-10063, <https://rscf.ru/en/project/24-76-10063/>

REFERENCES

1. Tangatarova S., Zhumaeva A., Abdullaeva Zh. Biological importance of microelements in the human body. *Bulletin of Science and Practice*. 2024; 10(7): 65–69 (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/08>
2. Milto I.V., Suhodolo I.V., Klimenteva T.K., Prokopieva V.D. Molecular and cellular bases of iron metabolism in humans. *Biochemistry (Moscow)*. 2016; 81(6): 549–564. <https://doi.org/10.1134/S0006297916060018>
3. Rumyantsev A.G. *et al.* Prevalence of iron deficiency related conditions and the contributing factors. *Medical Council*. 2015; (6): 62–66 (in Russian). EDN UAUCWP
4. Moiseenok A.G. *et al.* Essentiality and iron deficiency in nutrition: deepening a well-known problem of nutrition. *Food Industry: Science and Technology*. 2023; 16(2): 31–39 (in Russian). EDN UUKUUAU

5. Демихов В.Г., Морщачкова Е.Ф., Демикхова Е.В., Исакова О.В., Турчанникова Е.В., Айрапетова В.А. Распространенность дефицита железа у беременных женщин. *Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии*. 2002; 1(1): 21–23. EDN IAGFXH
6. Чакаров И. Влияние дефицита железа на организм ребенка (современная концепция). *Лечение и профилактика*. 2025; 15(1): 67–72. EDN YDML00
7. Маргазин В.А., Носкова А.С. Анемия у спортсменов. *Лечебная физкультура и спортивная медицина*. 2010; (5): 27–32. EDN MUUCCD
8. Пестрикова П.А., Черных П.А. Анемии, связанные с нарушением обмена железа в организме. *Тенденции развития науки и образования*. 2024; 109(10): 115–118. EDN NNHJYA
9. Скальный А.В. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. Изд. 4-е, доп., перераб. М.: Перо. 2019; 294. ISBN 978-5-00150-066-7
10. Блинов А.В., Самоволов А.В., Кастарнова Е.С., Назаретова Е.Д., Рехман З.А., Ребезов М.Б. Никотинатоаскорбат железа: синтез, токсичность, перспективы применения. *Аграрная наука*. 2025; (3): 137–143. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-137-143>
11. Малкоч А.В., Филатова Н.Н., Шутков Е.В. Роль железа в развитии и коррекции анемии при хронической болезни почек. *Эффективная фармакотерапия*. 2024; 20(42): 28–34. EDN RVCJER
12. Елисеева Т. Железо (Fe) для организма — 30 лучших источников и значение для здоровья. *Журнал здорового питания и диетологии*. 2021; 18: 66–75. <https://doi.org/10.59316/vi18.148>
13. Суханов А.В., Журавская Э.Я., Гырголькау Л.А., Куценогий К.П., Чанкина О.В. Дисбаланс химических элементов при болезни Альцгеймера. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2006; 26(4): 121–123. EDN HVIDUF
14. Алиев А.М., Владимиров Н.М., Соколова Т.Н., Петровская Ю.А., Леонов В.В. Современные представления о гомеостазе железа в организме человека. *Научный медицинский вестник Югры*. 2021; (3): 4–18. EDN RLOUGY
15. Фролова О.Н., Учасов Д.С. Микроэлемент железа и адаптационные возможности организма спортсменов. *Наука-2020*. 2022; (6): 207–213. EDN ALEWRT
16. Лыткина К.А. Дефицит железа и иммунитет: что нового в третьем десятилетии 21 века? Уникальные возможности ферроцерона. *Лечащий врач*. 2022; (5–6): 70–76. <https://doi.org/10.51793/OS.2022.25.6.013>
17. Шамитова Е.Н., Петрова В.Э., Хамитова Л.Г. Гепсидин и его роль в человеческом организме (литературный обзор). *Вестник новых медицинских технологий*. 2023; 30(4): 61–66. <https://doi.org/10.24412/1609-2163-2023-4-61-66>
18. Будневский А.В., Симион А.Ю., Шаповалова М.М. Патопфизиология анемического синдрома при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2021; 9(2): 301–312. <https://doi.org/10.23888/HMJ202192301-312>
19. Хастиева Д.Р., Хасанов Н.Р. Дефицит железа у больных с ишемической болезнью сердца. *Российский кардиологический журнал*. 2022; 27(S4): 51–57. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-4962>
20. Демьяненко Н.Ю. и др. Взаимосвязь латентного дефицита железа и анемического синдрома при некоторых сердечно-сосудистых заболеваниях: взгляд терапевта. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2025; 20(1): 103–108. https://doi.org/10.25881/20728255_2025_20_1_103
21. Енина Т.Н. и др. Дефицит железа и диастолическая функция при сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2024; 39(4): 75–83. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-4-75-83>
22. Качнов В.А., Тыренко В.В., Братилова Е.С., Кольцов А.В. Дефицит железа, анемия и фибрилляция предсердий. *Медицинский совет*. 2024; 18(6): 257–263. <https://doi.org/10.21518/ms2024-001>
23. Михайлова Н.А. Железодефицит при ХБП: многообразие последствий и алгоритм коррекции. *Эффективная фармакотерапия*. 2024; 20(21): 26–36. EDN NFASMZ
5. Demikhov V.G., Morshchakova E.F., Demikhova E.V., Isakova O.V., Turchannikova E.V., Ayrapetova V.A. Iron deficiency in pregnancy. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2002; 1(1): 21–23 (in Russian). EDN IAGFXH
6. Chakarov I. The impact of iron deficiency on a child's body (modern concept). *Disease treatment and prevention*. 2025; 15(1): 67–72 (in Russian). EDN YDML00
7. Margazin V.A., Noscova A.S. Sports anemia. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina*. 2010; (5): 27–32 (in Russian). EDN MUUCCD
8. Pestrikova P.A., Chernykh P.A. Anemias associated with impaired iron metabolism in the body. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2024; 109(10): 115–118 (in Russian). EDN NNHJYA
9. Skal'nyi A.V. Microelements: vigor, health, longevity. 4th ed. Moscow: Pero. 2019; 294 (in Russian). ISBN 978-5-00150-066-7
10. Blinov A.V., Samovolov A.V., Kastarnova E.S., Nazaretova E.D., Rehman Z.A., Rebezov M.B. Iron nicotinatoascorbate: synthesis, toxicity, application prospects. *Agrarian science*. 2025; (3): 137–143 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-137-143>
11. Malkoch A.V., Filatova N.N., Shutov E.V. The role of iron in the development and correction of anemia in chronic kidney disease. *Effective pharmacotherapy*. 2024; 20(42): 28–34 (in Russian). EDN RVCJER
12. Eliseeva T. Iron (Fe) for the body -top 30 sources and health implications. *Journal of Healthy Nutrition and Dietetics*. 2021; 18: 66–75. <https://doi.org/10.59316/vi18.148>
13. Sukhanov A.V., Zuravskay E.I., Gyrgolkay L.A., Kutsenogy K.P., Chankina O.V. The role of chemical element disbalance in the aetiology of Alzheimer's disease. *Bulletin Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences*. 2006; 26(4): 121–123 (in Russian). EDN HVIDUF
14. Aliyev A.M., Vladimirov N.M., Sokolova T.N., Petrovskaya Yu.A., Leonov V.V. Contemporary representations about iron homeostasis in the human body. *Nauchnyy meditsinskiy vestnik Yugry*. 2021; (3): 4–18 (in Russian). EDN RLOUGY
15. Frolova O.N., Uchasov D.S. Microelement iron and adaptation capabilities organism of athletes. *Nauka-2020*. 2022; (6): 207–213 (in Russian). EDN ALEWRT
16. Lytkina K.A. Iron deficiency and immunity: what's new in the third decade of the 21st century? The unique capabilities of ferrociron. *Lechaschi Vrach*. 2022; (5–6): 70–76 (in Russian). <https://doi.org/10.51793/OS.2022.25.6.013>
17. Shamitova E.N., Petrova V.E., Khamitova L.G. Hepcidin and its role in the human body (literature review). *Journal of New medical technologies*. 2023; 30(4): 61–66 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1609-2163-2023-4-61-66>
18. Budnevsky A.V., Simion A.Yu., Shapovalova M.M. Pathophysiology of anemic syndrome in cardiovascular diseases. *Science of the young (Eruditio Juvenium)*. 2021; 9(2): 301–312 (in Russian). <https://doi.org/10.23888/HMJ202192301-312>
19. Khastieva D.R., Khasanov N.R. Iron deficiency in patients with coronary artery disease. *Russian Journal of Cardiology*. 2022; 27(S4): 44–50. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2022-4962>
20. Demyanenko N.Yu. et al. The linkage between latent ferrum deficiency and anemia syndrome in some cardiovascular diseases: a therapist's view. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*. 2025; 20(1): 103–108 (in Russian). https://doi.org/10.25881/20728255_2025_20_1_103
21. Enina T.N. et al. Iron deficiency and diastolic function in heart failure with preserved ejection fraction. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2024; 39(4): 75–83 (in Russian). <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2024-39-4-75-83>
22. Kachnov V.A., Tyrenko V.V., Bratilova E.S., Koltsov A.V. Iron deficiency, anemia and atrial fibrillation. *Medical Council*. 2024; (6): 260–266 (in Russian). <https://doi.org/10.21518/ms2024-001>
23. Mikhailova N.A. Iron deficiency in CKD [sic!]: variety of consequences and correction algorithm. *Effective pharmacotherapy*. 2024; 20(21): 26–36 (in Russian). EDN NFASMZ

24. Мареев В.Ю. и др. Связь дефицита железа, анемии и сочетания дефицита железа с анемией с тяжестью проявлений хронической сердечной недостаточности. Дополнительный анализ исследования «Распространенность дефицита железа у пациентов с хронической сердечной недостаточностью в Российской Федерации (ДЖ-ХСН-РФ)». *Кардиология*. 2024; 64(11): 62–75. <https://doi.org/10.18087/cardio.2024.11.n2786>
25. Коденцова В.М., Рисник Д.В., Бессонов В.В. Соединения железа для обогащения пищевых продуктов: сравнительный анализ эффективности. *Микроэлементы в медицине*. 2023; 24(1): 10–19. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-1-10-19>
26. Layrisse M. et al. Iron Bioavailability in Humans from Breakfasts Enriched with Iron Bis-Glycine Chelate, Phytates and Polyphenols. *The Journal of Nutrition*. 2000; 130(9): 2195–2199. <https://doi.org/10.1093/jn/130.9.2195>
27. Громова О.А., Торшин И.Ю., Хаджидис А.К. Нежелательные эффекты сульфата железа в акушерской, педиатрической и терапевтической практике. *Земский врач*. 2010; (2): 39–44. EDN NECJUL
28. Белоконова Н.А., Тихомирова Е.И., Куприянова И.Н. Исследование физико-химических свойств препаратов протеин сукцилат железа (III) и гидроксид полимальтозат железа (III). *Вестник Томского государственного университета. Химия*. 2024; 33: 6–23. <https://doi.org/10.17223/24135542/33/1>
29. Ребезов М.Б., Никитин Е.Б., Темербаева М.В., Урюмцева Т.И. Современное состояние и перспективы производства фортифицированных пищевых продуктов в России и Казахстане. *Вестник Инновационного Евразийского университета*. 2020; (4): 143–151 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.37788/2020-4/143-151>
30. Блинов А.В., Рехман З.А., Самоволов А.В., Голик А.Б., Аванесян С.С., Ребезов М.Б. Исследование антиоксидантной активности ацидофильного молока, обогащенного селеном наноразмерной системой. *Аграрная наука*. 2025; (9): 151–157. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>
31. Костенко К.В., Блинов А.В., Пойдун Ф.А., Пирогов М.А., Серов А.М., Ребезов М.Б. Функциональный напиток на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента — цинка. *Аграрная наука*. 2024; (12): 158–165. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-158-165>
32. Hertrampf E., Olivares M. Iron amino acid chelates. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2004; 74(6): 435–443. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.6.435>
33. Блинов А.В., Самоволов А.В., Аскерова А.С., Нагдалян А.А., Серов А.М., Ребезов М.Б. Исследование влияния хелатного железосодержащего комплекса на качество кисломолочных продуктов. *Аграрная наука*. 2025; (4): 159–166. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-159-166>
34. Коденцова В.М., Рисник Д.В., Ладодо О.Б. Потребление витаминов: вклад отдельных пищевых продуктов и последствия различных диет. *Медицинский оппонент*. 2021; (1): 48–56. EDN KGMNJQ
35. Воронова Ю.С. и др. Содержание витаминов и активность биохимических процессов в организме человека. *Терапевт*. 2025; (10): 63–75. <https://doi.org/10.33920/MED-12-2510-06>
36. Suychinov A. et al. Vitamins and their role in human body. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(3): 1246–1248. EDN UCNWEC
37. Rebezov M. et al. Effect of bean flour on the chemical composition, vitamin, mineral level and organoleptic properties of meat roll. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 2020; 8(S2): 368–373. [https://doi.org/10.18006/2020.8\(SPL-2-AABAS\).S368.S373](https://doi.org/10.18006/2020.8(SPL-2-AABAS).S368.S373)
38. Козловский К.В., Самохин А.И. Изучение содержания аскорбиновой кислоты в сезонных овощах и фруктах. *Проблемы и перспективы развития современной медицины. Сборник научных статей XVII Республиканской научно-практической конференции с международным участием студентов и молодых*. Гомель: ГомГМУ. 2025; 628–630.
39. Шаповалова Е.М., Шидин А.В., Бессонова Н.С. Витамин С и антиоксидантная защита. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017; (4-1): 35–38. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.58.168>
40. Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Мазо В.К. Витамины и окислительный стресс. *Вопросы питания*. 2013; 82(3): 11–18. EDN QLIFCH
24. Mareev V.Yu. et al. Relationship of Iron Deficiency, Anemia and Combination of Iron Deficiency With Anemia With Severity of Manifestations of Chronic Heart Failure. Additional Analysis of the Study “Prevalence of Iron Deficiency in Patients With Chronic Heart Failure in the Russian Federation (J-CHF-RF)”. *Kardiologiya*. 2024; 64(11): 62–75 (in Russian). <https://doi.org/10.18087/cardio.2024.11.n2786>
25. Kodentsova V.M., Risnik D.V., Bessonov V.V. [I]ron compounds for food fortification: comparative analysis of efficiency. *Trace elements in medicine*. 2023; 24(1): 10–19 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-1-10-19>
26. Layrisse M. et al. Iron Bioavailability in Humans from Breakfasts Enriched with Iron Bis-Glycine Chelate, Phytates and Polyphenols. *The Journal of Nutrition*. 2000; 130(9): 2195–2199. <https://doi.org/10.1093/jn/130.9.2195>
27. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Hadzhidis A.K. Adverse effects of iron sulfate in obstetrics, pediatrics and therapeutics. *Zemskiy vrach*. 2010; (2): 39–44 (in Russian). EDN NECJUL
28. Belokonova N.A., Tikhomirova E.I., Kupriyanova I.N. Investigation of physico-chemical properties of iron (III) succinylate protein and iron (III) polymaltosate hydroxide preparations. *Tomsk State University Journal of Chemistry*. 2024; 33: 6–23 (in Russian). <https://doi.org/10.17223/24135542/33/1>
29. Rebezov M.B., Nikitin Ye.B., Temerbayeva M.V., Uryumtseva T.I. Current state and prospects of fortified food production in Russia and Kazakhstan. *Bulletin of the Innovative University of Eurasia*. 2020; (4): 143–151. <https://doi.org/10.37788/2020-4/143-151>
30. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Samovolov A.A., Golik A.B., Avanesyan S.S., Rebezov M.B. Study of antioxidant activity of fermented milk products enriched with selenium-containing nanosized system. *Agrarian science*. 2025; (9): 151–157 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>
31. Kostenko K.V., Blinov A.V., Poydun P.A., Pirogov M.A., Serov A.M., Rebezov M.B. A functional drink based on reconstituted whey powder and a triple chelate complex of the essential trace element zinc. *Agrarian science*. 2024; (12): 158–165 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-158-165>
32. Hertrampf E., Olivares M. Iron amino acid chelates. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2004; 74(6): 435–443. <https://doi.org/10.1024/0300-9831.74.6.435>
33. Blinov A.V., Samovolov A.V., Askerova A.S., Nagdalyan A.A., Serov A.M., Rebezov M.B. The influence of chelated iron-containing complex on the quality of fermented milk products. *Agrarian science*. 2025; (4): 159–166 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-159-166>
34. Kodentsova V.M., Risnik D.V., Ladodo O.B. Vitamin consumption: contributions of separate products and effects of different diets. *Medical opponent*. 2021; (1): 48–56 (in Russian). EDN KGMNJQ
35. Voronova Yu.S. et al. Vitamin content and activity of biochemical processes in the human body. *Therapist*. 2025; (10): 63–75 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/MED-12-2510-06>
36. Suychinov A. et al. Vitamins and their role in human body. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(3): 1246–1248. EDN UCNWEC
37. Rebezov M. et al. Effect of bean flour on the chemical composition, vitamin, mineral level and organoleptic properties of meat roll. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 2020; 8(S2): 368–373. [https://doi.org/10.18006/2020.8\(SPL-2-AABAS\).S368.S373](https://doi.org/10.18006/2020.8(SPL-2-AABAS).S368.S373)
38. Kozlovskiy K.V., Samokhin A.I. Study of ascorbic acid content in seasonal vegetables and fruits. *Problems and prospects of development of modern medicine. Collection of scientific articles of the XVII Republican scientific and practical conference with international participation of students and young people*. Gomel: Gomel State Medical University. 2025; 628–630 (in Russian).
39. Shapovalova E.M., Shidin A.V., Bessonova N.S. Vitamin C and antioxidant protection. *International research journal*. 2017; (4-1): 35–38 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.58.168>
40. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Mazo V.K. Vitamins and oxidative stress. *Problems of nutrition*. 2013; 82(3): 11–18 (in Russian). EDN QLIFCH

41. Bowling F.G. Pyridoxine supply in human development. *Seminars in Cell & Developmental Biology*. 2011; 22(6): 611–618. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2011.05.003>
42. Соловьева Э.Ю., Федина А.И., Боголепова А.Н., Воробьева О.В., Орлова Н.В., Филатова И.П. Клинические рекомендации по применению нейротропных витаминов группы В (B_1 , B_6 и B_{12}) для лечения периферической невропатии: консенсус многопрофильной экспертной группы. *Нервные болезни*. 2024; (1): 91–98. <https://doi.org/10.24412/2226-0757-2024-13068>
43. Пишугин Ф.В., Тулебердиев И.Т., Лецкевич А.В. Химические превращения α - и β -аминокислот под действием витаминов группы B_6 . *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. 2023; (1): 68–73. EDN MVPFNL
44. Елисеева Т., Мироненко А. Витамины группы В — описание, польза, влияние на организм и лучшие источники. *Журнал здорового питания и диетологии*. 2019; 8: 74–87. <https://doi.org/10.59316/vi8.45>
45. Meng L., Zhang Y., Su M., Ding P., Zhao J. Синтез и применение функционализированных кремнием углеродных квантовых точек для анализа витамина B_6 и антибактериальной активности. *Журнал прикладной спектроскопии*. 2025; 92(6): 831 (на англ. яз.). EDN XGGVKT
46. Блиникова О.М., Червонных Л.А., Новикова И.М., Грачева Н.А. Молочные продукты в питании человека. *Питание и биотехнологии для здоровьесбережения населения Арктической зоны Российской Федерации. Сборник статей IX научно-практической конференции с международным участием*. Якутск: СВФУ. 2025; 98–103. EDN MYTISG
47. Третьяк Л.Н., Ребезов М.Б., Антипова А.П., Мордвинова А.О. Анализ потребительских предпочтений при выборе обогащенных кисломолочных продуктов: региональный аспект. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015; (12-6): 978–982. EDN VBUNWR
48. Ребезов М.Б., Наумова Н.Л., Альхамова Г.К., Кожевникова Е.Ю., Сорокин А.В. Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска. *Молочная промышленность*. 2011; (8): 38–39. EDN NYGQSR
49. Боранбаева Т., Талапбек М., Енсебаева С., Жауынбай А., Досимова Ж., Болат А. Разработка иммуномодулирующего кисломолочного продукта на основе кобыльего молока. *Исследования, результаты*. 2025; (1): 419–430. <https://doi.org/10.37884/1-2025/45>
50. Ребезов М.Б., Прохаско Л.С., Попова М.А., Максимюк Н.Н., Канарейкина С.Г. Сетевое планирование научно-исследовательской работы по разработке йогуртных продуктов. *Педагогика высшей школы*. 2015; (2): 43–45. EDN UAAOCN
51. Kozyreva F. *et al.* Improving milk quality to prevent microelement deficiencies: a socio-hygienic perspective on adding bioavailable trace elements. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023; 17: 433–443. <https://doi.org/10.5219/1872>
52. Белокурова Е.В., Попов Е.С., Саргсян М.А. Подбор микроэлементов для иммобилизации их коллоидных структур на природном носителе с целью обогащения основных пищевых продуктов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2022; 84(1): 162–166. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-162-166>
53. Blinov A. *et al.* Ferrous Ascorbate Nicotinate: A New Form of the Essential Trace Element Fe Against Iron Deficiency Anemia. *Journal of Applied Organometallic Chemistry*. 2025; 5(2): 168–184. <https://doi.org/10.48309/jaoc.2025.508969.1272>

ОБ АВТОРАХ:

Андрей Владимирович Блинов¹

кандидат технических наук, доцент, доцент департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Александр Михайлович Серов¹

лаборант департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
sanyka_stavzan@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-2929-4191>

41. Bowling F.G. Pyridoxine supply in human development. *Seminars in Cell & Developmental Biology*. 2011; 22(6): 611–618. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2011.05.003>

42. Solovieva E.Yu., Fedin A.I., Bogolepova A.N., Vorobieva O.V., Orlova N.V., Filatova I.P. Clinical guidelines on the use of neurotropic B vitamins (B_1 , B_6 and B_{12}) for treatment of peripheral neuropathy: multidisciplinary expert consensus. *Nervous diseases*. 2024; (1): 91–98 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2226-0757-2024-13068>

43. Pishugin F.V., Tuleberdiev I.T., Letskevich A.V. Chemical transformations of α - and β -amino acids under the action of B_6 vitamins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*. 2023; (1): 68–73 (in Russian). EDN MVPFNL

44. Eliseeva T., Mironenko A. B vitamins - description, benefits, effects on the body and best sources. *Journal of Healthy Nutrition and Dietetics*. 2019; 8: 74–87. <https://doi.org/10.59316/vi8.45>

45. Meng L., Zhang Y., Su M., Ding P., Zhao J. Synthesis and Application of Functionalized Silicon Quantum Dots in the Analysis of Vitamin B6. *Zhurnal Prikladnoi Spektroskopii*. 2025; 92(6): 831. EDN XGGVKT

46. Blinnikova O.M., Chervonnykh L.A., Novikova I.M., Gracheva N.A. Dairy products in human nutrition. *Nutrition and biotechnology for health preservation of the population of the Arctic zone of the Russian Federation. Collection of articles from the IX scientific and practical conference with international participation*. Yakutsk: North-Eastern Federal University. 2025; 98–103 (in Russian). EDN MYTISG

47. Tretyak L.N., Rebezov M.B., Antipova A.P., Mordvinova A.O. The analysis of consumer preferences in choosing enriched fermented milk product. regional aspect. *International journal of applied and fundamental research*. 2015; (12-6): 978–982 (in Russian). EDN VBUNWR

48. Rebezov M.B., Naumova N.L., Al'hamova G.K., Kozhevnikova E.Yu., Sorokin A.V. Offers of the enriched milk products in Chelyabinsk. *Dairy industry*. 2011; (8): 38–39. (in Russian). EDN NYGQSR

49. Boranbayeva T., Talapbek M., S. Yensebayeva, Zhauynbai A., Dosimova Zh.B., Bolat A.A. Development of an immunomodulatory fermented milk product based on mare's milk. *Research, Results*. 2025; (1): 419–430 (in Russian). <https://doi.org/10.37884/1-2025/45>

50. Rebezov M.B., Prokhas'ko L.S., Popova M.A., Maksimuk N.N., Kanareykina S.G. Network planning of research work on the development of yogurt products. *Pedagogika vysshey shkoly*. 2015; (2): 43–45 (in Russian). EDN UAAOCN

51. Kozyreva F. *et al.* Improving milk quality to prevent microelement deficiencies: a socio-hygienic perspective on adding bioavailable trace elements. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023; 17: 433–443. <https://doi.org/10.5219/1872>

52. Belokurova E.V., Popov E.S., Sargsyan M.A. Choosing microelements for the immobilization of their colloidal frames on a natural carrier in order to enrich the main food products. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022; 84(1): 162–166 (in Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-1-162-166>

53. Blinov A. *et al.* Ferrous Ascorbate Nicotinate: A New Form of the Essential Trace Element Fe Against Iron Deficiency Anemia. *Journal of Applied Organometallic Chemistry*. 2025; 5(2): 168–184. <https://doi.org/10.48309/jaoc.2025.508969.1272>

ABOUT THE AUTHORS:

Andrey Vladimirovich Blinov¹

Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Associate Professor, Department of Functional Materials and Engineering Design
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Aleksandr Mikhailovich Serov¹

laboratory assistant at the Department of Functional Materials and Engineering Design
sanyka_stavzan@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-2929-4191>

Алина Салмановна Аскерова¹

лаборант департамента функциональных материалов
и инженерного конструирования
vikalinka04@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9852-3055>

Артем Владимирович Самоволов¹

ассистент кафедры технологии переработки нефти
и промышленной экологии
artem.samovolov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Зафар Абдулович Рехман¹

преподаватель департамента функциональных
материалов и инженерного конструирования
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Максим Борисович Ребезов^{2,3}

- доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник²;
- доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Северо-Кавказский федеральный университет,
ул. им. Пушкина, 1, Ставрополь, 355002, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

Alina Salmanovna Askerova¹

laboratory assistant at the Department of Functional Materials
and Engineering Design
vikalinka04@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9852-3055>

Artem Vladimirovich Samovolov¹

assistant of the department of oil refining technology
and industrial ecology
artem.samovolov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Zafar Abdulovich Rekhman¹

lecturer at the Department of Functional
Materials and Engineering Design
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Maksim Borisovich Rebezov^{2,3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher²;
- Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor
of the Department of Biotechnology and Food Products³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹North Caucasus Federal University,
1 Pushkin st., Stavropol, 355002, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems,
26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia



Достойное вознаграждение за привлеченную рекламу от ИД «Аграрная наука»

Вы

общительны и активны
владеете связями в сфере АПК
имеете время и желание
хотите заработать

Мы гарантируем

☒ интересную работу по привлечению
рекламы в проекты ИД
☒ свободный, удобный график
☒ официальное оформление
☒ щедрый % за принесенную вами
рекламу

Звоните +7 (916) 616-05-31

Реклама

А.В. Блинов¹А.В. Самоволов¹Д.Б. Голик¹

М.А. Пирогов

З.А. Рехман² ✉А.С. Аскерова¹М.Б. Ребезов^{2,3}¹Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия³Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ zafarehman@yan.ru

Поступила в редакцию: 11.01.2026

Одобрена после рецензирования: 09.04.2026

Принята к публикации: 23.04.2026

© Блинов А.В., Самоволов А.В., Голик Д.Б., Пирогов М.А., Рехман З.А., Аскерова А.С., Ребезов М.Б.

Исследование свойств молока, обогащенного хелатным комплексом цинка с витаминами С и В₆

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Дефицит эссенциального микроэлемента цинка является глобальной проблемой здравоохранения, что обуславливает разработку продуктов питания, обогащенных его высокоусвояемыми формами. Молоко представляет перспективную основу для введения хелатных комплексов цинка.

Методы. Осуществлен синтез тройного хелатного комплекса – аскорбатопиридоксината цинка — взаимодействием аскорбиновой кислоты, пиридоксина гидрохлорида и сульфата цинка. Структура подтверждена квантово-химическим моделированием и ИК-спектроскопией. Пастеризованное молоко обогащали комплексом в концентрациях, эквивалентных 10–100% суточной нормы цинка (1,1–11,0 мг/100 мл). Исследовали физико-химические показатели (рН, титруемая кислотность, электропроводность), массовую долю нутриентов и органолептические свойства.

Результаты. Установлено, что внесение комплекса не вызывает статистически значимых изменений титруемой кислотности, электропроводности и содержания основных компонентов молока; отмечено незначительное снижение рН (с 6,75 до 6,63) вследствие разбавления. Органолептическая оценка подтвердила высокое качество продукта (4,50–4,83 балла). Оптимальной признана доза обогащения 10–30% суточной нормы цинка (1,1–3,3 мг/100 мл), обеспечивающая сохранение показателей качества. Полученные данные обосновывают перспективность применения аскорбатопиридоксината цинка для создания функциональных молочных продуктов.

Результаты. Полученные результаты подтверждают, что использование трансформерных моделей позволяет отказаться от субъективных и трудоемких методов учета, обеспечивая при этом масштабируемость анализа.

Ключевые слова: хелатные комплексы, стабилизация, обогащение, фортификация, физико-химические показатели

Для цитирования: Блинов А.В., Самоволов А.В., Голик Д.Б., Пирогов М.А., Рехман З.А., Аскерова А.С., Ребезов М.Б. Исследование свойств молока, обогащенного хелатным комплексом цинка с витаминами С и В₆. *Аграрная наука*. 2026; 406 (05): 138–145. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-138-145>

Andrey V. Blinov¹Artem A. Samovolov¹Dmitriy B. Golik¹Maksim A. Pirogov¹Zafar A. Rekhman¹ ✉Alina S. Askerova¹Maksim B. Rebezov^{2,3}¹North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia²Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia³Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ zafarehman@yan.ru

Received by the editorial office: 11.01.2026

Accepted in revised: 09.04.2026

Accepted for publication: 23.04.2026

© Blinov A.V., Samovolov A.V., Golik D.B., Pirogov M.A., Rekhman Z.A., Askerova A.S., Rebezov M.B.

Study of the properties of milk enriched with a chelated complex of zinc with vitamins C and B₆

ABSTRACT

Relevance. The deficiency of the essential trace element zinc is a global public health concern, necessitating the development of food products fortified with its highly bioavailable forms. Milk represents a promising matrix for the introduction of zinc chelate complexes.

Methods. A ternary chelate complex, zinc ascorbatopyridoxinate, was synthesized through the reaction of ascorbic acid, pyridoxine hydrochloride, and zinc sulfate. The structure was confirmed by quantum chemical modeling and IR spectroscopy. Pasteurized milk was fortified with the complex at concentrations equivalent to 10–100% of the recommended daily intake of zinc (1.1–11.0 mg/100 mL). Physicochemical parameters (pH, titratable acidity, electrical conductivity), nutrient mass fraction, and organoleptic properties were evaluated.

Results. The addition of the complex was found to cause no statistically significant changes in titratable acidity, electrical conductivity, or the content of the major milk components; a slight decrease in pH (from 6.75 to 6.63) was observed due to dilution. Sensory evaluation confirmed the high quality of the product (scores of 4.50–4.83). The optimal fortification dose was determined to be 10–30% of the recommended daily zinc intake (1.1–3.3 mg/100 mL), which preserves the quality parameters. The obtained data substantiate the potential of using zinc ascorbatopyridoxinate for the development of functional dairy products.

Key words: chelate complexes, stabilization, enrichment, fortification, physicochemical indicators

For citation: Blinov A.V., Samovolov A.V., Golik D.B., Pirogov M.A., Rekhman Z.A., Askerova A.S., Rebezov M.B. Study of the properties of milk enriched with a chelated complex of zinc with vitamins C and B₆. *Agrarian science*. 2026; 406 (05): 138–145 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-138-145>

Введение/Introduction

В современном питании отмечается недостаточное потребление эссенциальных микроэлементов вследствие ухудшения экологической обстановки и снижения качества пищевых продуктов [1–4].

Эссенциальные микроэлементы — это вещества, присутствующие в организме в малых концентрациях и необходимые для его нормального функционирования [5–9]. К их числу относятся такие металлы, как Mn, Cu, Zn, Fe, Co, Cr [10–13]. Эссенциальный микроэлемент цинк играет важную роль в организме человека [14–16].

Цинк входит в состав более четырехсот ферментов, участвующих в катализе гидролиза белков, альдегидов и пептидов. Также данный микроэлемент содержится в двух ферментах: карбоксипептидаза А и карбоангидраза, которые контролируют активацию гидролиза концевой пептидной связи в белках [17, 18]. Помимо прочего, цинк входит в состав гормона инсулина, который участвует в углеводном обмене, и процессе формирования костной ткани [19].

В теле взрослого человека содержится около 2 грамм цинка [20]. Недостаточное потребление этого микроэлемента может быть вызвано нарушением работы щитовидной железы и печени, недостатком цинка в пище и воде, а также приемом некоторых лекарственных препаратов [21]. Дефицит цинка является глобальной проблемой здравоохранения всего мира, приводит к утомляемости, снижению памяти, задержке роста и репродуктивной дисфункции. В настоящее время недостатком данного микроэлемента страдает около двух миллиардов человек [22].

Для восполнения уровня цинка в организме человека используют различные биологически активные добавки, однако данный микроэлемент в них обладает низкой биодоступностью за счет наличия в составе неорганической формы цинка (цинк сернокислый) [23]. Для лучшего усвоения микроэлементов разрабатываются хелатные комплексы, позволяющие переводить их в органическую форму. Витамины С и В₆ являются хелатирующими агентами, которые повышают усвоение микроэлемента цинка и не дают ему вступать в реакцию с другими минералами, находящимися в пище [24].

Наиболее перспективный метод коррекции микроэlementного статуса — обогащение продуктов массового потребления эссенциальными микроэlementами [25–27].

Молоко считается продуктом массового потребления и перспективным сырьем для обогащения элементами для профилактики дефицитных состояний [28–30].

В настоящее время активно проводится обогащение молока и молочных продуктов различными биологически активными добавками, которые содержат питательные вещества в высокоусвояемой форме [31–33].

Задачей данного исследования стало создание молочного продукта, обогащенного новым тройным хелатным комплексом эссенциального микроэлемента цинка — аскорбатопиридоксинатом цинка для лечения и профилактики дефицитных состояний.

Цель настоящего исследования заключалась в получении тройного хелатного комплекса Zn с витаминами С и В₆ (аскорбатопиридоксинат цинка), а также в установлении закономерностей изменения физико-химических и органолептических характеристик пастеризованного молока при его обогащении данным комплексом.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В ходе синтеза аскорбатопиридоксината цинка использовались следующие реактивы: аскорбиновая кислота, пиридоксина гидрохлорид, сульфат цинка, бария гидроокись 8-водная.

Синтез проводили на базе Северо-Кавказского федерального университета, город Ставрополь.

Синтез проводился следующим образом: смешивали пиридоксина гидрохлорид и аскорбиновую кислоту в эквимолярном количестве и растворяли их в дистиллированной воде, затем к полученному раствору добавляли гидроокись бария 8-водного и сульфат цинка. Реакционную смесь перемешивали на магнитной мешалке в течение 30 минут. Полученную смесь центрифугировали при 3000 об/мин в течение 5 минут для удаления, образовавшегося в ходе реакции осадка сульфата бария. Данную операцию проводили трехкратно до полного удаления осадка.

Определение оптимального типа взаимодействия атома цинка с витаминами С и В₆ проводили с помощью расчета квантовых характеристик с использованием молекулярного редактора — IQmol¹, исследовались такие показатели, как полная энергия комплекса, химическая жесткость, энергии высшей занятой и низшей свободной молекулярных орбиталей.

Для подтверждения результатов моделирования образец аскорбатопиридоксината цинка исследовался на ИК-спектрометре Фурье 1201 (Россия) в диапазоне от 500 до 4000 см⁻¹.

Было осуществлено обогащение коровьего молока тройным хелатным комплексом цинка.

Для эксперимента использовалось цельное отборное пастеризованное коровье молоко жирностью 3,4–6,0 % (ООО «Казьминский молочный комбинат», Невинномысск, Россия).

В качестве контрольного образца было взято необогащенное цельное коровье молоко.

Образцы 1–5 были обогащены тройным хелатным комплексом цинка в различных концентрациях.

В образце 1 содержание цинка составило 1,1 мг на 100 мл молока, что составляет 10% суточной потребности.

¹ <https://www.iqmol.org/>

Образец 2 содержал 3,3 мг цинка на 100 мл, обеспечивая 30% дневной нормы.

В образце 3 концентрация цинка достигала 5,5 мг на 100 мл, что соответствует 50% от необходимого суточного количества.

Образец 4 содержит 7,7 мг цинка на 100 мл, покрывая 70% нормы, а в образце 5 его содержание составляло 11 мг на 100 мл, полностью удовлетворяя суточную потребность (100%).

Тройной хелатный комплекс цинка вносили в пастеризованное молоко при температуре 4 °С, после чего образцы выдерживали 2 часа при 4 °С перед исследованиями.

Определение различных физико-химических свойств молока проводили на анализаторе качества молока «Лактан» исполнение 600 УЛЬТРА (ООО «Сибагроприбор», Россия).

Активную кислотность среды исследовали с использованием pH-метра OHAUS ST300-B (OHAUS Corporation, КНР).

Исследование титруемой кислотности проводили согласно ГОСТ 3624-92².

Определение электропроводности осуществлялось кондуктометрическим методом на приборе «Эксперт-001», (Эконикс-Эксперт, Россия).

В заключении эксперимента были проведены исследования органолептических показателей молока, обогащенного аскорбатопиридоксинатом цинка согласно ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011³ по 5-балльной шкале. Количество привлекаемых экспертов — 10 (все сотрудники Северо-Кавказского федерального университета, Ставрополь, Россия).

Сырье и реактивы, применяемые в данном исследовании, поставлялись в университет с документами, удостоверяющими показателями качества и безопасности.

Все измерения проводили в 3-кратной повторности⁴⁻⁶, результаты представлены как $M \pm m$, полученные данные были проанализированы с помощью программы STATISTICA для Windows (Statsoft, Талса, США).

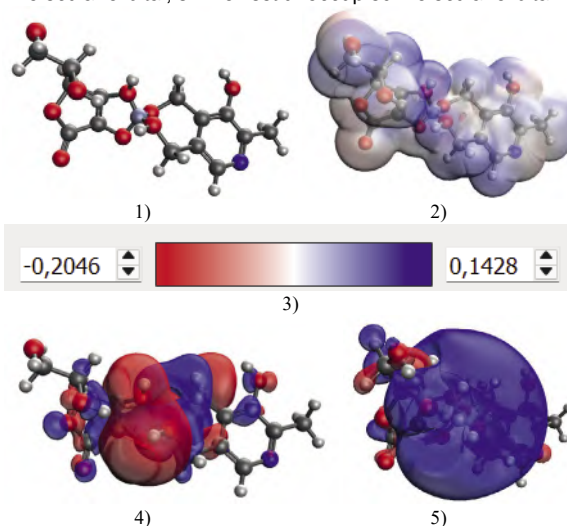
Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 1 представлены результаты моделирования тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента цинка с витаминами С и В₆.

Взаимодействие с витамином С происходит через гидроксильные группы, присоединенные к С₂ и С₃ атомам аскорбиновой кислоты, а взаимодействие с витамином В₆ происходит через гидроксиметильные группы, присоединенные к С₃ и С₄ атомам пиридинового кольца.

Рис. 1. Результаты моделирования тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента цинка с витаминами С и В₆: 1 — модель молекулярного комплекса, 2 — распределение электронной плотности, 3 — градиент распределения электронной плотности, 4 — высшая заселенная молекулярная орбиталь, 5 — низшая свободная молекулярная орбиталь

Fig. 1. Results of modeling a triple chelate complex of the essential trace element zinc with vitamins C and B₆: 1 — model of a molecular complex, 2 — electron density distribution, 3 — gradient of electron density distribution, 4 — highest occupied molecular orbital, 5 — lowest unoccupied molecular orbital



Такой вариант взаимодействия обладает наиболее высокими значениями химической жесткости и наименьшим значениям полной энергии, что подтверждает энергетическую выгоду формирования комплекса.

Далее для подтверждения данных, полученных методом квантово-химического моделирования, проводилось исследование образца тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента цинка с витаминами С и В₆ методом ИК-спектроскопии.

Результаты исследований представлены на рисунке 2.

Анализ ИК-спектра пиридоксина гидрохлорида показал, что в диапазоне 2600-3500 см⁻¹ наблюдаются полосы, характерные для валентных колебаний групп О-Н и N-Н. На участке от 1600 до 1400 см⁻¹ присутствуют полосы деформационных колебаний группы СН₃, валентных колебаний углерод-углеродного кольца и С±С, а также деформационных колебаний СН₂. В области от 1400 до 1000 см⁻¹ наблюдается наличие полос, характерных для деформационных колебаний групп О-Н и С-Н, валентных колебаний С-О, а также колебаний группы С-N. Также деформационные колебания гидроксильной группы О-Н присутствуют в диапазоне 500-1000 см⁻¹, а в области от 1100 до

² ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности

³ ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки

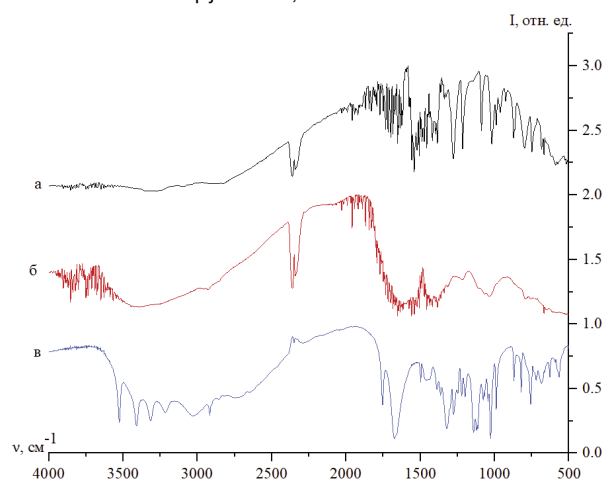
⁴ ГОСТ Р ИСО 22514-1-2015 Статистические методы. Управление процессами. Часть 2. Оценка пригодности и воспроизводимости процесса на основе модели его изменения во времени

⁵ ГОСТ Р ИСО 22514-4-2021. Статистические методы. Управление процессами. Часть 4. Оценка показателей воспроизводимости и пригодности процесса

⁶ ГОСТ Р ИСО 22514-7-2014 Статистические методы. Управление процессами. Часть 7. Воспроизводимость процессов измерений

Рис. 2. ИК спектр тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента цинка с витаминами С и В₆: а — пиридоксин; б — аскорбатопиридоксинат цинка; в — аскорбиновая кислота

Fig. 2. IR spectrum of the triple chelate complex of the essential microelement zinc with vitamins C and B₆: а — pyridoxine; б — zinc ascorbatopyridoxine; в — ascorbic acid.



1000 см⁻¹ находятся деформационные колебания пиридинового кольца.

Анализ ИК-спектра аскорбатопиридоксина цинка показал, что пики в области от 4000 до 3500 см⁻¹ относятся к валентным колебаниям О–Н групп. В диапазоне от 1700 до 1600 см⁻¹ присутствуют пики, относящиеся к валентным колебаниям карбонильной группы аскорбиновой кислоты (С=О). Наличие пиридоксина в комплексе подтверждают деформационные колебания пиридинового кольца в диапазоне 1100–900 см⁻¹. Деформационные колебания, связанные с группой С–О–Н в аскорбиновой кислоте, проявляются в диапазонах 1450–1250 см⁻¹ и 750–650 см⁻¹. Участок на 630 см⁻¹ соответствует колебаниям металл-оксидной группы Zn–O.

Анализ ИК-спектра аскорбиновой кислоты показал, что в области 3400–2700 см⁻¹ присутствуют валентные колебания О–Н группы. Деформационные

колебания этой группы лежат в диапазоне 1200–1450 см⁻¹. Полоса на 1670 см⁻¹ соответствует колебаниям С=C группы. Полосы на 869 см⁻¹, 821 см⁻¹, 758 см⁻¹, 721 см⁻¹ относятся к деформационным колебаниям СН₂ группы. Полосы на 1775, 1112, 1144, 1330 см⁻¹ соответствует деформационным колебаниям С–ОН.

В качестве практического применения осуществлялось обогащение коровьего молока аскорбатопиридоксинатом цинка и исследование его физико-химических показателей.

При внесении комплекса в молоко разрушения или диссоциации комплекса не наблюдается, так как активная кислотность молока не является сильнокислой или сильнощелочной, а также обогащение проводится без каких-либо повышений температуры. Также стоит отметить, что исследования стабильности хелатного комплекса цинка с аскорбиновой кислотой и незаменимыми аминокислотами показали, что соединение устойчиво при pH от 3 до 8 и температуре от 25 до 65 °C⁷.

В таблице 1 представлены результаты исследования физико-химических параметров молока.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что введение аскорбатопиридоксина цинка не оказывает влияния на титруемую кислотность, при этом с увеличением дозы комплекса цинка, уменьшается pH продукта, что связано с наличием в составе комплекса аскорбиновой кислоты и пиридоксина. Они обладают кислыми свойствами (снижают pH).

Массовое содержание различных компонентов молока также находится в одном диапазоне по сравнению с контрольным образцом, однако с повышением концентрации эссенциального микроэлемента цинка уменьшается процентное содержание питательных веществ в молоке. Снижение массовой доли жира, белка и СОМО (сухой обезжиренный молочный остаток) — это прямое следствие разбавления молока водным раствором добавки.

Таблица 1. Физико-химические параметры молока, обогащенного аскорбатопиридоксинатом цинка (* — p < 0.05)

Table 1. Physicochemical parameters of milk fortified with zinc ascorbatopyridoxine (* — p < 0.05)

Показатели качества	Контроль	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
pH	6,75 ± 0,02	6,73 ± 0,03	6,71 ± 0,02	6,68 ± 0,02*	6,65 ± 0,03*	6,63 ± 0,02*
Титруемая кислотность, °Т	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1	20 ± 1
Электропроводность, мСм/м	17,45 ± 0,10	17,55 ± 0,12	17,51 ± 0,09	17,49 ± 0,11	17,31 ± 0,10	17,34 ± 0,13
Масс. доля жира, %	3,68 ± 0,03	3,63 ± 0,04	3,58 ± 0,03*	3,55 ± 0,03*	3,53 ± 0,04*	3,51 ± 0,03*
СОМО, %	8,00 ± 0,04	7,91 ± 0,05	7,81 ± 0,04*	7,75 ± 0,05*	7,70 ± 0,04*	7,66 ± 0,05*
Сухие вещества, %	11,68 ± 0,06	11,54 ± 0,07	11,39 ± 0,06*	11,30 ± 0,07*	11,23 ± 0,06*	11,17 ± 0,07*
Масс. доля белка, %	2,23 ± 0,02	2,22 ± 0,02	2,20 ± 0,02	2,19 ± 0,02	2,19 ± 0,03	2,19 ± 0,02
Плотность, кг/м ³	1027,96 ± 0,50	1027,66 ± 0,60	1027,30 ± 0,50	1027,09 ± 0,60	1026,94 ± 0,50*	1026,79 ± 0,60*
Лактоза, %	4,40 ± 0,03	4,35 ± 0,04	4,29 ± 0,03*	4,26 ± 0,04*	4,24 ± 0,03*	4,21 ± 0,04*
Добавленная вода, %	2,0 ± 0,5	4,0 ± 0,6*	5,0 ± 0,5*	6,0 ± 0,6*	6,0 ± 0,7*	7,0 ± 0,6*
Точка заморозания, °С	-0,517 ± 0,003	-0,511 ± 0,004	-0,505 ± 0,003*	-0,501 ± 0,004*	-0,499 ± 0,004*	-0,469 ± 0,005*
Минеральные соли, %	0,66 ± 0,01	0,66 ± 0,01	0,65 ± 0,01	0,64 ± 0,01	0,64 ± 0,01	0,64 ± 0,02
Общий белок, %	2,94 ± 0,02	2,90 ± 0,03	2,87 ± 0,02*	2,84 ± 0,03*	2,83 ± 0,03*	2,81 ± 0,03*
Калорийность, кал	61,42 ± 0,30	60,68 ± 0,35	59,91 ± 0,30*	59,47 ± 0,35*	59,18 ± 0,33*	58,94 ± 0,34*

⁷ Blinov A. *et al.* Colloidal characteristics and dispersion stability of ascorbate-zinc-isoleucinate triple chelated complex in fermented dairy matrix // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2026. – Т. 737. – С. 139789.

Например, содержание жира в контрольном образце (3,68%) отличается от данного показателя в образце, который обогащен наибольшей дозой цинксодержащего комплекса (3,51%).

В перспективе необходимы исследования динамики физико-химических показателей в процессе хранения.

На следующем этапе исследований проводилось исследование влияния различных концентраций хелатного комплекса цинка на органолептические свойства молока.

Результаты исследования органолептических свойств молока, обогащенного аскорбатопиридоксинатом цинка, приведены в таблице 2.

Из полученных данных установлено, что органолептические показатели молока, обогащенного аскорбатопиридоксинатом цинка, обладают дегустационными оценками в пределах от 4,83 (10% суточной нормы цинка) до 4,50 (100% суточной нормы цинка).

В связи с этим оптимальной дозой аскорбатопиридоксината цинка для обогащения молока и молочных продуктов считается 10 и 30% от суточной дозы микроэлемента цинка (образец 1 и 2).

Выводы/Conclusions

Методами квантово-химического моделирования и ИК-спектроскопии подтверждено образование тройного хелатного комплекса аскорбатопиридоксината цинка с координацией атома Zn через гидроксильные группы аскорбиновой кислоты и гидроксиметильные группы пиридоксина.

Установлено, что обогащение пастеризованного молока данным комплексом в диапазоне

Таблица 2. Результаты органолептической оценки

Table 2. Tasting results

Наименование образца	Запах и вкус	Оценка, баллы (по 5-бальной шкале)
Контроль	Чистый, приятный, слегка сладковатый	4,83
Образец 1	Чистый, приятный, слегка сладковатый	4,83
Образец 2	Чистый, приятный, слегка сладковатый	4,60
Образец 3	Чистый, приятный, слегка сладковатый	4,60
Образец 4	Чистый, приятный, слегка сладковатый	4,50
Образец 5	Чистый, приятный, слегка сладковатый	4,50

1,1–11,0 мг Zn/1 л (10–100% суточной нормы) не вызывает статистически значимых изменений титруемой кислотности, электропроводности и массовой доли основных нутриентов. Незначительное снижение pH (с 6,75 до 6,63) и содержания сухих веществ обусловлено эффектом разбавления.

Органолептические показатели всех образцов соответствуют контрольным (оценки 4,50–4,83 балла).

Оптимальной дозировкой, обеспечивающей сохранение качества продукта, признано внесение комплекса из расчета 10–30% суточной нормы цинка (1,1–3,3 мг/100 мл).

Полученные данные обосновывают перспективность использования аскорбатопиридоксината цинка для создания функциональных молочных продуктов, направленных на профилактику цинк-дефицитных состояний.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10063, <https://rscf.ru/en/project/24-76-10063/>

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 24-76-10063, <https://rscf.ru/en/project/24-76-10063/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Microelements and Their Role in Human Health. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Soil Components and Human Health. Dordrecht: Springer. 2018; 317–374. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1222-2_7
2. Дурнев А.Д., Оганесянц Л.А., Лисицын А.Б. Функциональные продукты питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2007; (9): 15–22. EDN IBSAUN
3. Шатнюк Л.Н., Спиричев В.Б., Коденцова В.М., Вржесинская О.А. Обогащение молочных продуктов: научное обоснование, нормативная база, практические решения. *Молочная промышленность*. 2010; (10): 34–39. EDN MVZSXP
4. Тупиков В.А., Наумова Н.Л., Ребезов М.Б. Элементный состав волос как отражение экологической ситуации. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура*. 2012; 31: 119–122. EDN OZKRPX

REFERENCES

1. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Microelements and Their Role in Human Health. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Soil Components and Human Health. Dordrecht: Springer. 2018; 317–374. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1222-2_7
2. Durnev A.D., Oganesyants L.A., Lisitsyn A.B. Functional food. *Storage and Processing of Farm Products*. 2007; (9): 15–22 (in Russian). EDN IBSAUN
3. Shatnyuk L.N., Spirichev V.B., Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A. Enrichment of milk products: scientific basis, normative basis, practical solutions. *Dairy industry*. 2010; (10): 34–39 (in Russian). EDN MVZSXP
4. Tupikov V.A., Naumova N.L., Rebezov M.B. Elemental composition of the hair as a reflection of environmental situation. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Education, healthcare service, physical education*. 2012; 31: 119–122 (in Russian). EDN OZKRPX

5. Сириева Т.А., Сириева Я.Н. Избыток и недостаток микроэлементов в организме человека. *Современные технологии в российской и зарубежных системах образования. Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2019; 109–113. EDN GQTBH
6. Спиваковский Ю.М., Спиваковская А.Ю. Микроэлементы и их роль в жизни человека. *Медицинская сестра*. 2005; (5): 19–22. EDN MQIQTD
7. Филимонов Р.М., Филимонова Т.Р., Мусаева О.М. К вопросу о синергизме и антагонизме микроэлементов в организме. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2023; 100(3-2): 209–210. EDN UQJGSM
8. Гальченко А.В., Назарова А.М. Эссенциальные микро- и ультрамикроэлементы в питании вегетарианцев и веганов. Часть 1. Железо, цинк, медь, марганец. *Микроэлементы в медицине*. 2019; 20(4): 14–23. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2019-20-4-14-23>
9. Наумова Н.Л., Ребезов М.Б. Микроэлементный статус челябинцев как обоснование развития производства обогащенных продуктов питания. *Фундаментальные исследования*. 2012; (4-1): 196–200. EDN PAZFXV
10. Renata R.-B.N., Arely G.-R.A., Gabriela L.-M.A., Esther M.-L.M. Immunomodulatory Role of Microelements in COVID-19 Outcome: a Relationship with Nutritional Status. *Biological Trace Element Research*. 2023; 201(4): 1596–1614. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03290-8>
11. Molkova E.A. et al. Optical Investigation of the Combined Effect of pH and Temperature on the Interactions of BSA Protein with Iron Oxide Nanoparticles. *Colloids and Interfaces*. 2025; 9(4): 45. <https://doi.org/10.3390/colloids9040045>
12. Костенко К.В., Блинов А.В., Пойдун Ф.А., Пирогов М.А., Серов А.М., Ребезов М.Б. Функциональный напиток на основе восстановленной сухой молочной сыворотки и тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента — цинка. *Аграрная наука*. 2024; (12): 158–165. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-158-165>
13. Блинов А.В., Рехман З.А., Голик А.Б., Гвозденко А.А., Нагдалян А.А., Ребезов М.Б. Инновационная форма эссенциального микроэлемента меди для обогащения молочной продукции. *Аграрная наука*. 2024; (4): 153–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>
14. Дехканов К.А., Утегенов Н.У., Курбанов А.Б., Реймбергенова С.Т. Физиологические аспекты обмена некоторых микроэлементов в норме и при мочекаменной болезни у детей. *Новый день в медицине*. 2013; (2): 12–17. EDN YDROUX
15. Камышева Е.С., Прокопчук К.Я., Рогожников А.Ю. Селен и цинк: ключевые микроэлементы в поддержании иммунитета. *Биотехнология в медицине и фармации*. 2025; 2(2): 88–90. <https://doi.org/10.51620/3034-7211-2025-2-2-88-90>
16. Андрусишина И.Н., Голуб И.А., Лампека Е.Г., Дондэ С.М., Страуб О.В. Нарушения обмена микроэлементов у пациентов с диагнозом Вильсона–Коновалова. *Микроэлементы в медицине*. 2011; 12(1–2): 47–50. EDN NRMBIF
17. Студеникин В.М., Турсунхужаева С.Ш., Шелковский В.И. Цинк в нейропедиатрии и нейродиетологии. *Лечащий врач*. 2012; (1): 44. EDN SDBTRB
18. Шейбак В.М., Горецкая М.В., Павлюковец А.Ю. Биологическая роль цинка при алкогольном и вирусном поражениях печени (обзор литературы). *Проблемы здоровья и экологии*. 2013; (2): 14–20. EDN UUZDPV
19. Трошина Е.А., Сенюшкина Е.С. Роль цинка в процессах синтеза и метаболизма гормонов щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2020; 16(3): 25–30. <https://doi.org/10.14341/ket12697>
20. Халиуллина С.В. Клиническое значение дефицита цинка в организме ребенка (обзор литературы). *Вестник современной клинической медицины*. 2013; 6(3): 72–78. EDN QCJWPP
5. Sirieva T.A., Siriyeva Ya.N. The excess and deficiency of trace elements in the human body. *Modern technologies in Russian and foreign education systems. Collection of articles of the VIII International scientific and practical conference*. Penza: Penza State Agrarian University. 2019; 109–113 (in Russian). EDN GQTBH
6. Spivakovskiy Yu.M., Spivakovskaya A.Yu. Microelements and their role in human life. *Meditsinskaya sestra*. 2005; (5): 19–22 (in Russian). EDN MQIQTD
7. Filimonov R.M., Filimonova T.R., Musaeva O.M. On the issue of synergism and antagonism of trace elements in the body. *Problems of balneology, physiotherapy and exercise therapy*. 2023; 100(3-2): 209–210 (in Russian). EDN UQJGSM
8. Galchenko A.V., Nazarova A.M. Essential trace and ultra trace elements in nutrition of vegetarians and vegans. Part 1. Iron, zinc, copper, manganese. *Trace elements in medicine*. 2019; 20(4): 14–23 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2019-20-4-14-23>
9. Naumova N.L., Rebezov M.B. Microelement status of the population of Chelyabinsk as basis of production fortified foods. *Fundamental research*. 2012; (4-1): 196–200 (in Russian). EDN PAZFXV
10. Renata R.-B.N., Arely G.-R.A., Gabriela L.-M.A., Esther M.-L.M. Immunomodulatory Role of Microelements in COVID-19 Outcome: a Relationship with Nutritional Status. *Biological Trace Element Research*. 2023; 201(4): 1596–1614. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03290-8>
11. Molkova E.A. et al. Optical Investigation of the Combined Effect of pH and Temperature on the Interactions of BSA Protein with Iron Oxide Nanoparticles. *Colloids and Interfaces*. 2025; 9(4): 45. <https://doi.org/10.3390/colloids9040045>
12. Kostenko K.V., Blinov A.V., Poydun P.A., Pirogov M.A., Serov A.M., Rebezov M.B. A functional drink based on reconstituted whey powder and a triple chelate complex of the essential trace element zinc. *Agrarian science*. 2024; (12): 158–165 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-158-165>
13. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Golik A.B., Gvozdenko A.A., Nagdalian A.A., Rebezov M.B. An innovative form of the essential trace element copper for fortification of dairy products. *Agrarian science*. 2024; (4): 153–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-153-159>
14. Dehkanov K.A., Utegenov N.U., Kurbanov A.B., Reymbergenova S.T. Physiological aspects of the exchange of some microcells in norm and at urolithic illness at children. *New day in medicine*. 2013; (2): 12–17 (in Russian). EDN YDROUX
15. Kamyshева E.S., Prokopchuk K.Ya., Rogozhnikov A.Yu. Selenium and zinc: key microelements in maintaining immunity. *Biotechnology in medicine and pharmacy*. 2025; 2(2): 88–90 (in Russian). <https://doi.org/10.51620/3034-7211-2025-2-2-88-90>
16. Andrusishina I.N., Golub I.A., Lampeka E.G., Donde S.M., Straub O.V. Metabolic mineral disorders in patients with Wilson–Konovalov disease. *Trace elements in medicine*. 2011; 12(1–2): 47–50 (in Russian). EDN NRMBIF
17. Studenikin V.M., Tursunkhuzhaeva S.Sh., Shelkovskiy V.I. Zinc in neuropsychiatry and neurodietology. *The Attending Physician*. 2012; (1): 44 (in Russian). EDN SDBTRB
18. Sheibak V.M., Goretskaya M.V., Pavliukovets A.Yu. Biological role of zinc in alcoholic and viral liver lesion (literature review). *Health and Ecology Issues*. 2013; (2): 14–20 (in Russian). EDN UUZDPV
19. Senyushkina E.S., Troshina E.A. The role of zinc in the synthesis and metabolism of thyroid hormones. *Clinical and experimental thyroidology*. 2020; 16(3): 25–30 (in Russian). <https://doi.org/10.14341/ket12697>
20. Khaliullina S.V. Clinical significance of zinc deficiency in the child (literature review). *Bulletin of Contemporary Clinical Medicine*. 2013; 6(3): 72–78 (in Russian). EDN QCJWPP

21. Новикова В.П., Хавкин А.И. Дефицит цинка и микробиота кишечника. *Вопросы практической педиатрии*. 2021; 16(3): 92–99. <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2021-3-92-98>

22. Prasher P., Sharma M. Role of Endophytic Bacteria in the Alleviation of Heavy Metals from an Ecosystem. Mohamed H.I., El-Beltagi H.E.-D.S., Abd-Elsalam K.A. (eds.). *Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management*. Cham: *Springer*. 2021; 115–131. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66587-6_5

23. Баяржаргал М. и др. Изучение биодоступности нового пищевого источника цинка. *Вопросы детской диетологии*. 2007; 5(2): 11–15. EDN IAYXQN

24. Лютых О. Большая роль микроэлементов. *Эффективное животноводство*. 2020; (4): 95–99. EDN ZIFEYE

25. Алборова А.О., Дзюва А.А. Инновационные продукты питания функционального назначения. *Студенческая наука — агропромышленному комплексу. Научные труды студентов Горского Государственного аграрного университета*. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2017; 54(1): 312–314. EDN ZTZKUF

26. Щеплягина Л.А., Баранов А.А., Дворяковская Г.М., Нечаева О.А., Васечкина Л.И., Абрамова И.Ю. Природный дефицит микроэлементов и пути его преодоления. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2001; (6): 21–25. EDN RRQDEH

27. Рисник Д.В., Коденцова В.М. Микронутриенты в питании космонавтов. *Микроэлементы в медицине*. 2025; 26(1): 3–16. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2025-26-1-3-16>

28. Смирнова Е.А., Кочеткова А.А. Рынок функциональных молочных продуктов. *Молочная промышленность*. 2011; (2): 63–67. EDN NDBOSF

29. Горощенко Л.Г. Тенденции развития российского рынка молочных продуктов. *Молочная промышленность*. 2009; (3): 10–13. EDN KZDNWL

30. Пивоварова А.О., Чумакова И.В. Актуальные вопросы обогащения молочных продуктов. *Переработка молока*. 2016; (12): 26–28. EDN XHDENJ

31. Блинов А.В. и др. Аскорбатотреонинат железа (II) — новая хелатная форма эссенциального железа для обогащения продуктов питания. *Индустрия питания*. 2024; 9(1): 82–90. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-9>

32. Блинов А.В., Серов А.В., Самоволов А.В., Аскерова А.С., Сляднева К.С., Рехман З.А. Исследование процесса обогащения молока хелатным смешаннолигандным комплексом железа. *Молочная промышленность*. 2025; (1): 42–47. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-1-25>

33. Блинов А.В., Рехман З.А., Самоволов А.В., Голик А.Б., Аванесян С.С., Ребезов М.Б. Исследование антиоксидантной активности ацидофильного молока, обогащенного селеносодержащей наноразмерной системой. *Аграрная наука*. 2025; (9): 151–157. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>

ОБ АВТОРАХ

Андрей Владимирович Блинов¹

кандидат технических наук, доцент, доцент департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Артём Владимирович Самоволов¹

ассистент кафедры технологии переработки нефти и промышленной экологии
artem.samovolov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Дмитрий Борисович Голик¹

лаборант департамента функциональных материалов и инженерного конструирования
goldy_m@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0008-0663-6305>

21. Novikova V.P., Khavkin A.I. Zinc deficiency and intestinal microbiota. *Clinical Practice in Pediatrics*. 2021; 16(3): 92–99 (in Russian). <https://doi.org/10.20953/1817-7646-2021-3-92-98>

22. Prasher P., Sharma M. Role of Endophytic Bacteria in the Alleviation of Heavy Metals from an Ecosystem. Mohamed H.I., El-Beltagi H.E.-D.S., Abd-Elsalam K.A. (eds.). *Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management*. Cham: *Springer*. 2021; 115–131. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66587-6_5

23. Bayarzhargal M. et al. An evaluation of bioavailability of a new food source of zinc. *Pediatric Nutrition*. 2007; 5(2): 11–15 (in Russian). EDN IAYXQN

24. Lyutykh O. The important role of microelements. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2020; (4): 95–99 (in Russian). EDN ZIFEYE

25. Alborova A.O., Dziova A.A. Innovative functional food products. *Student science is dedicated to the agro-industrial complex. Scientific works of students of the Gorsky State Agrarian University*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University. 2017; 54(1): 312–314 (in Russian). EDN ZTZKUF

26. Shcheplyagina L.A., Baranov A.A., Dvoryakovskaya G.M., Nechayeva O.A., Vasechkina L.I., Abramova I.YU. Natural deficiency of microelements and ways to overcome it. *Annals of the Russian academy of medical sciences*. 2001; (6): 21–25 (in Russian). EDN RRQDEH

27. Risnik D.V., Kodentsova V.M. Micronutrients in the nutrition of astronauts. *Trace elements in medicine*. 2025; 26(1): 3–16 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2025-26-1-3-16>

28. Smirnova E.A., Kochetkova A.A. The market of the functional milk products. *Dairy industry*. 2011; (2): 63–67 (in Russian). EDN NDBOSF

29. Goroshchenko L.G. Development trends of the Russian milk products market. *Dairy industry*. 2009; (3): 10–13 (in Russian). EDN KZDNWL

30. Pivovarova A.O., Chumakova I.V. Current issues of dairy product fortification. *Milk Processing*. 2016; (12): 26–28 (in Russian). EDN XHDENJ

31. Blinov A.V. et al. Iron Ascorbate Threonine (II) as a New Chelated Form of Essential Iron for Food Fortification. *Food Industry*. 2024; 9(1): 82–90 (in Russian). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-9>

32. Blinov A.V., Serov A.V., Samovolov A.V., Askerova A.S., Slyadnaya K.S., Rekhman Z.A. Functional milk product fortified with iron mixed-ligand chelate complex. *Dairy industry*. 2025; (1): 42–47 (in Russian). <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-1-25>

33. Blinov A.V., Rekhman Z.A., Samovolov A.A., Golik A.B., Avanesyan S.S., Rebezov M.B. Study of antioxidant activity of fermented milk products enriched with selenium-containing nanosized system. *Agrarian science*. 2025; (9): 151–157 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-398-09-151-157>

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Vladimirovich Blinov¹

Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Associate Professor, Department of Functional Materials and Engineering Design
blinov.a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4701-8633>

Artem Vladimirovich Samovolov¹

assistant of the department of oil refining technology and industrial ecology
artem.samovolov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5570-6201>

Dmitriy Borisovich Golik¹

laboratory assistant at the Department of Functional Materials and Engineering Design
goldy_m@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0008-0663-6305>

Максим Александрович Пирогов¹

ассистент Департамента функциональных материалов
и инженерного конструирования
lexgouldman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Зафар Абдулович Рехман¹

преподаватель департамента функциональных
материалов и инженерного конструирования
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Алина Салмановна Аскерова¹

лаборант департамента функциональных материалов
и инженерного конструирования
vikalinka04@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9852-3055>

Максим Борисович Ребезов^{2, 3}

- доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник²;
- доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹Северо-Кавказский федеральный университет,
ул. им. Пушкина, 1, Ставрополь, 355002, Россия

²Федеральный научный центр пищевых систем
им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

³Уральский государственный аграрный университет,
ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

Maksim Alexandrovich Pirogov¹

assistant at the Department of Functional Materials
and Engineering Design
lexgouldman@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2580-9474>

Zafar Abdulovich Rekhman¹

lecturer at the Department of Functional Materials
and Engineering Design
zafrehman1027@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2809-4945>

Alina Salmanovna Askerova¹

laboratory assistant at the Department of Functional Materials
and Engineering Design
vikalinka04@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9852-3055>

Maksim Borisovich Rebezov^{2, 3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher²;
- Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor
of the Department of Biotechnology and Food Products³
rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

¹North Caucasus Federal University,
1 Pushkin st., Stavropol, 355002, Russia

²Gorbatov Research Center for Food Systems,
26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

³Ural State Agrarian University,
42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

Ежемесячный научно-теоретический и производственный журнал выходит один раз в месяц.



Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (К1, К2), в список Russian Science Citation Index (RSCI), в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в ядро РИНЦ, «Белый список» ВАК РФ, в список периодических изданий Международной базы данных AGRIS (ГНУ ЦНХБ Россельхозакадемии).

Ознакомиться с информацией
о перечне специальностей ВАК
и итоговом распределении
журналов по категориям можно
здесь:



Приравнивание научных журналов,
входящих в наукометрические базы
данных, к журналам Перечня ВАК
с распределением по категориям:



Согласно приведенным данным, журнал «Аграрная наука» относится к категории К1.

Подобную информацию о журнале можно получить у научного редактора М.Н. Долгой
+7 (495) 777 67 67 (доб. 1453)
dolgaya@vicgroup.ru

Реклама

М.Ф. Низамиев ✉

А.Х. Нурғалиев

О.В. Владимиров

К.Ю. Беяков

Казанский государственный
энергетический университет,
Казань, Россия

✉ marat.nizamiev.90@mail.ru

Поступила в редакцию: 20.03.2026

Одобрена после рецензирования: 09.04.2026

Принята к публикации: 23.04.2026

© Низамиев М.Ф., Нурғалиев А.Х.,
Владимиров О.В., Беяков К.Ю.

Marat F. Nizamiev ✉

Aynur Kh. Nurgaliev

Oleg V. Vladimirov

Kamil Yu. Belyakov

Kazan State Power Engineering
University, Kazan, Russia

✉ marat.nizamiev.90@mail.ru

Received by the editorial office: 20.03.2026

Accepted in revised: 09.04.2026

Accepted for publication: 23.04.2026

© Nizamiev M.F., Nurgaliev A.Kh.,
Vladimirov O.V., Belyakov K.Yu.

Архитектура Big Data-платформы предиктивной диагностики высоковольтного электрооборудования агропромышленных комплексов на основе анализа виброакустических характеристик

РЕЗЮМЕ

В статье представлена архитектура Big Data-платформы для предиктивной диагностики высоковольтных изоляторов подстанций АПК. Проблема: существующие методы вибродиагностики неприменимы к сельским подстанциям из-за удаленности, нестабильной связи (LTE-M, VSAT) и высокочастотных виброакустических сигналов (20–250 кГц), которые на два порядка превышают обычный диапазон.

Разработана пятиуровневая архитектура: MEMS- и пьезодатчики, граничные узлы NVIDIA Jetson AGX Orin с вейвлет-пакетной декомпозицией и компрессией Zstandard (коэффициент сжатия 12,7×), брокеры Apache Kafka, слой распределенных вычислений Apache Spark Structured Streaming и гибридная модель CNN-LSTM с механизмом внимания. Эксперимент на пяти подстанциях Татарстана за 12 месяцев показал: собрано 2,34 ПБ сырых данных, передано 184 ТБ. Точность классификации шести классов состояния достигла 98,4% ($F1 = 0,977$). Интегральный индекс HI обеспечивает шкалу от 0,92 (исправное) до 0,14 (предпробой). Внедрение платформы позволило снизить непрогнозируемые отказы на 71%, а удельные затраты на техническое обслуживание — на 34,2%. Горизонт надежного прогноза остаточного ресурса составил 38 суток. Без периодического дообучения точность модели за год падает на 5,7 процентных пункта, что требует ежеквартальной перекалибровки. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан неприменимостью существующих методов вибродиагностики к условиям сельских подстанций с их удаленностью.

Ключевые слова: большие данные, виброакустическая диагностика, высоковольтные изоляторы, предиктивное обслуживание, агропромышленный комплекс, потоковая обработка, сверточно-рекуррентные нейронные сети

Для цитирования: Низамиев М.Ф., Нурғалиев А.Х., Владимиров О.В., Беяков К.Ю. Архитектура Big Data-платформы предиктивной диагностики высоковольтного электрооборудования агропромышленных комплексов на основе анализа виброакустических характеристик. *Аграрная наука*. 2026; 406(05): 146–152. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-146-152>

Big Data platform architecture for predictive diagnostics of high-voltage electrical equipment in agro-industrial complexes based on vibroacoustic signal analysis

ABSTRACT

This article presents the architecture of a Big Data platform for predictive diagnostics of high-voltage insulators at substations of agro-industrial complexes. The problem is that existing vibration diagnostics methods are inapplicable to rural substations due to remoteness, unstable LTE-M and VSAT communication, as well as high-frequency vibroacoustic signals in the range of 20–250 kHz, which are two orders of magnitude higher than the ordinary spectrum of mechanical components.

A five-layer architecture has been developed, including MEMS and piezoelectric sensors, NVIDIA Jetson AGX Orin edge nodes with wavelet packet decomposition and Zstandard compression (compression ratio of 12.7×), Apache Kafka brokers, an Apache Spark Structured Streaming distributed computing layer, and a hybrid CNN-LSTM model with an attention mechanism. An experiment at five substations in the Republic of Tatarstan over 12 months showed that 2.34 PB of raw data were collected and 184 TB were transmitted. The classification accuracy for six condition classes reached 98.4% ($F1 = 0.977$). The integrated health index HI provides a scale from 0.92 (healthy) to 0.14 (pre-breakdown). Implementation of the platform reduced unpredicted failures by 71% and unit maintenance costs by 34.2%. The reliable remaining useful life prediction horizon was 38 days. Without periodic retraining, model accuracy decreases by 5.7 percentage points per year, requiring quarterly recalibration. The work was supported by a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan.

Key words: big data, vibroacoustic diagnostics, high-voltage insulators, predictive maintenance, agro-industrial complex, stream processing, convolutional-recurrent neural networks

For citation: Nizamiev M.F., Nurgaliev A.Kh., Vladimirov O.V., Belyakov K.Yu. Big Data platform architecture for predictive diagnostics of high-voltage electrical equipment in agro-industrial complexes based on vibroacoustic signal analysis. *Agrarian science*. 2026; 406(05): 146–152 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-146-152>

Введение/Introduction

Цифровая трансформация АПК России охватывает агрономический и логистический контуры, тогда как энергетическая инфраструктура сельских потребителей первой и второй категорий остается вне приоритета: парк силовых трансформаторов подстанций 35/10 кВ изношен, а доля отказов по деградации изоляции устойчиво высока. При этом в смежных отраслях накоплен значительный задел по интеллектуальной диагностике технического состояния: для энергонасыщенных тракторов разработаны алгоритмы на основе искусственного интеллекта [1], для двигателей сельскохозяйственной техники — цифровые методы диагностирования [2], для буровых лебедок — время-вероятностный метод с микропроцессорными средствами [3]. Ряд авторов предложил программное обеспечение прогнозирования ресурса сельхозмашин [4] и бесконтактную диагностику через CAN-интерфейс [5]; сформулированы обобщенные методы и устройства оценки состояния техники в эксплуатации [6] и программные комплексы дистанционного контроля узлов и агрегатов [7]. В судовой энергетике апробирована комплексная методика диагностики и наладки энергетического оборудования [8], в электромашиностроении — методы вибрационного контроля асинхронных двигателей [9], с помощью которых удастся связать спектральные признаки с развивающимися дефектами обмоток и подшипников [10].

Перенос перечисленных подходов на высоковольтное электрооборудование подстанций АПК упирается в три нерешенных противоречия. Во-первых, виброакустические сигналы высоковольтной изоляции содержат диагностически значимые компоненты в полосе 20–250 кГц, что на два порядка превышает частотный диапазон типовой вибродиагностики механических узлов [9, 10] и делает неприменимыми классические спектральные процедуры. Во-вторых, сельские подстанции эксплуатируются в условиях удаленности, нестабильных каналов связи (LTE-M, VSAT) и агрессивной среды, при которых централизованная передача сырых потоков порядка десятков ГБ/ч на подстанцию [7] физически невозможна — тогда как существующие системы предиктивной аналитики [1, 4] ориентированы на подвижную технику с локальным хранением. В-третьих, доступные программные решения для дистанционного мониторинга [7] и диагностики по CAN-шине [5] не рассчитаны на потоковую обработку сигналов ультразвукового диапазона с миллисекундной задержкой и не содержат моделей, способных одновременно работать с временной динамикой деградации изоляции и ее частотной сигнатурой.

Научная проблема состоит в отсутствии интегрированной программно-аппаратной архитектуры, которая обеспечивала бы сбор, сжатие, потоковую обработку и интерпретацию виброакустических сигналов высоковольтных изоляторов в реальных условиях подстанций АПК и давала бы

количественную оценку остаточного ресурса, пригодную для планирования обслуживания в горизонте поставки запасных частей.

Цель исследования — разработать архитектуру Big Data-платформы предиктивной диагностики высоковольтного электрооборудования агропромышленного комплекса на основе анализа виброакустических характеристик и оценить ее технико-экономическую эффективность.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальная апробация проведена на пяти подстанциях 35/10 кВ Республики Татарстан (период октябрь 2024 г. — сентябрь 2025 г.): птицефабрика АО «Челны-Бройлер», тепличный комплекс ООО «Агропарк», молочный комплекс АО «Агросила-Молоко», зерносушильный комплекс ООО «Ак Барс Холдинг», элеваторный комплекс ООО «Ярыш».

На каждой подстанции — 12 измерительных точек: MEMS-акселерометры ADXL1002 (Analog Devices Inc., США) с полосой 0–40 кГц, пьезоэлектрические преобразователи акустической эмиссии R15 α (Mistras Group / Physical Acoustics Corporation, США) с резонансом 150 кГц и рабочим диапазоном 20–250 кГц, датчики тока утечки с измерительными трансформаторами ТТИ-А (ООО «ИЭК ХОЛДИНГ», Россия). Частота дискретизации — 512 кГц для акустической эмиссии и 96 кГц для MEMS, разрядность 24 бита; совокупный поток сырых данных 47,6 ГБ/ч на подстанцию.

Граничный слой — NVIDIA Jetson AGX Orin 64 GB (NVIDIA Corporation, США): вейвлет-пакетная декомпозиция восьмого уровня (db6), MFCC (40 компонент), спектральный эксцесс, крест-фактор, среднееквадратичное значение по шести полосам. Для передачи признакового пакета на центральный слой использована компрессия Zstandard 1.5.5 (Facebook Inc., США) уровня 19 (в среднем 12,7 $\times$). Выбор алгоритма и уровня выполнен по четырем критериям: (1) коэффициент сжатия — не ниже 10 $\times$ при сохранении точности восстановления признакового вектора на уровне побитовой идентичности (lossless), что проверено на обучающей выборке 10⁵ сигнальных окон; (2) время упаковки одного окна длительностью 1 с — не более 30 мс на NVIDIA Jetson AGX Orin в однопоточном режиме, что обеспечивает запас по E2E-бюджету задержки 150 мс; (3) потребление оперативной памяти кодером — не более 512 МБ; (4) совместимость с native-интеграцией в Apache Kafka producer (поддерживается с версии Kafka 2.1). По совокупности критериев Zstandard уровня 19 превзошел конкурентов — gzip-9 уступил по коэффициенту сжатия (9,1 $\times$) и скорости, LZ4-HC — по коэффициенту (7,8 $\times$), Brotli-11 — по скорости упаковки (в 3,4 раза медленнее при сопоставимом сжатии).

Слой брокера и распределенных вычислений: Apache Kafka 3.6 (три узла Intel Xeon Gold 6338),

Apache Spark 3.5.0 Structured Streaming (пять воркеров, 160 vCPU, 1,28 ТБ оперативной памяти) на Kubernetes 1.29. Выбор Spark вместо Flink обоснован нативной интеграцией с MLlib и возможностью вызова PyTorch-моделей через Pandas UDF: для диагностики изоляторов миллисекундная задержка избыточна — характерные времена деградации измеряются часами [6]. Хранение: HDFS 3.3.6 (холодный контур), InfluxDB 2.7 (теплый), PostgreSQL 16 с TimescaleDB 2.14 (метаданные).

Обобщенная схема пятиуровневой архитектуры платформы с указанием направлений потоков данных, программных компонентов каждого слоя и объёмов на характерных рубежах обработки представлена на рис. 1.

Аналитический слой — гибридная модель CNN-LSTM с многоголовым вниманием: одномерная свёрточная ветвь (5 слоёв, 64→512 фильтров, ядро 3 × 1), двунаправленная LSTM (2 слоя, 256 ячеек), attention с 8 головами, классификатор на шесть классов. Обучение — PyTorch 2.2 (The Linux Foundation / PyTorch Foundation, США),

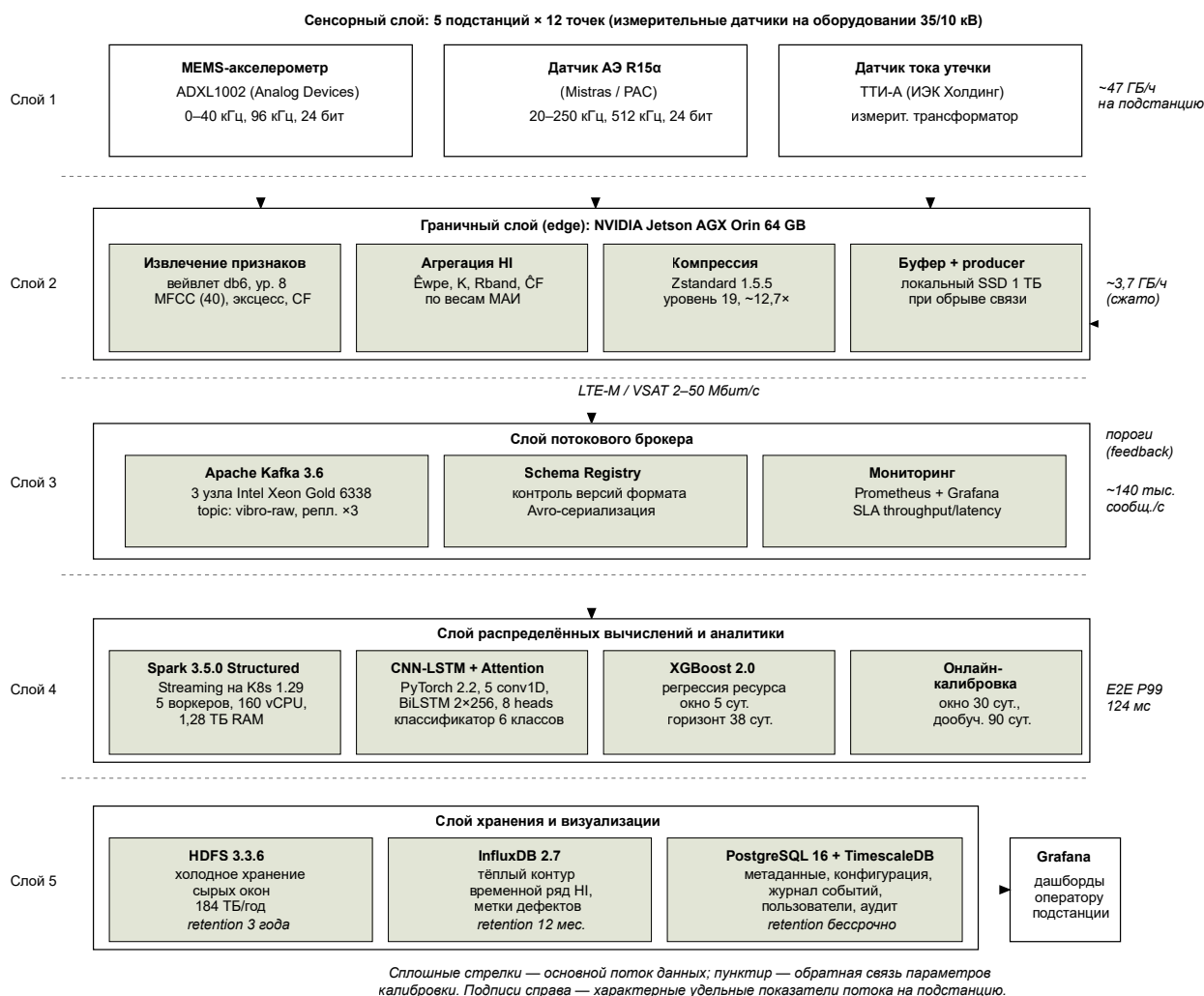
оптимизатор AdamW (скорость обучения 3×10^{-4}), batch 128, 200 эпох. Прогноз остаточного ресурса — XGBoost 2.0 (The Apache Software Foundation, США), окно 5 суток. Авторская методика расчёта интегрального индекса технического состояния: $HI = 1 - (\alpha_1 \times \hat{E}_{wpe} + \alpha_2 \times \hat{K} + \alpha_3 \times \hat{R}_{band} + \alpha_4 \times \hat{C}F)$, где HI — индекс состояния (1 — исправный, 0 — предельно деградированный); $\hat{E}_{wpe}$ — нормированная энергия вейвлет-пакетов 40–180 кГц; $\hat{K}$ — нормированный эксцесс; $\hat{R}_{band}$ — отношение энергии полосы 80–160 кГц к 0–40 кГц; $\hat{C}F$ — нормированный крест-фактор; $\alpha_1 = 0,35$, $\alpha_2 = 0,20$, $\alpha_3 = 0,30$, $\alpha_4 = 0,15$ (метод анализа иерархий). Экономическую эффективность рассчитывали согласно рекомендациям¹ по ценам 2025 года.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

За 365 суток собрано 2,34 ПБ сырых данных, после граничной обработки в облако поступило 184 ТБ. Пропускная способность каналов связи (LTE-M и спутниковая VSAT) варьировала от 2 до

Рис. 1. Пятиуровневая архитектура Big Data-платформы предиктивной диагностики высоковольтных изоляторов подстанций АПК 35/10 кВ

Fig. 1. Five-layer architecture of the Big Data platform for predictive diagnostics of HV insulators at 35/10 kV agro-industrial substations



¹ Рекомендации по проектированию технологической части гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций: утв. Минэнерго России (М-во энергетики Рос. Федерации) от 30. 06. 2003 г. — Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. — (Правила и инструкции). — ISBN 5-93196-423-1. — EDN QMIENL.

50 Мбит/с, что обосновало необходимость агрессивной локальной обработки. Производительность платформы — в таблице 1.

Коэффициент сжатия варьирует от 11,3× (П4) до 13,6× (П2): на зерносушильном комплексе постоянный механический фон от сушильных барабанов повышает энтропию сигнала, и Zstandard сжимает хуже. Средняя задержка 124 мс и потери 0,04% укладываются в требования промышленной диагностики [4, 6]. Контрольный замер без Big Data-слоя нежизнеспособен: задержка возрастает в 15 раз, потери — в 54,5 раза, что подтверждает необходимость граничных вычислений [7].

Оценка временной устойчивости модели за 12 месяцев эксплуатации показала постепенную деградацию точности без дообучения: взвешенная F1-мера снизилась с 0,977 на 1-м месяце до 0,921 на 12-м (–5,7 процентных пункта), что соответствует среднемесячному темпу деградации 0,48 п.п. и обусловлено сезонной сменой режима работы подстанций, накоплением загрязнений и эволюцией спектральных сигнатур стареющей изоляции (рис. 2).

Периодическое дообучение на скользящем 90-дневном окне восстанавливает точность до 0,968–0,973, что задает минимальный интервал технического регламента переобучения — один раз в квартал.

Модель CNN-LSTM с механизмом внимания обучена на 2,1 млн сигнальных окон длительностью 1 с, валидация — 0,4 млн, тест — 0,5 млн; разбиение по временной оси исключает утечку данных. Результаты классификации — в таблице 2.

Взвешенная F1-мера 0,977 находится в верхней части диапазона современных подходов к диагностике частичных разрядов благодаря объему выборки и комбинации двух типов датчиков; аналогичный выигрыш от объединения разнородных диагностических каналов зафиксирован в интеллектуальных системах диагностирования сельскохозяйственной техники [11] и в системах предиктивной аналитики металлургического

Рис. 2. Дegradaция точности модели CNN-LSTM без дообучения за 12 месяцев эксплуатации (взвешенная F1-мера, среднее по пяти подстанциям)

Fig. 2. Accuracy degradation of the CNN-LSTM model without retraining over 12 months of operation (weighted F1-score, averaged across five substations)

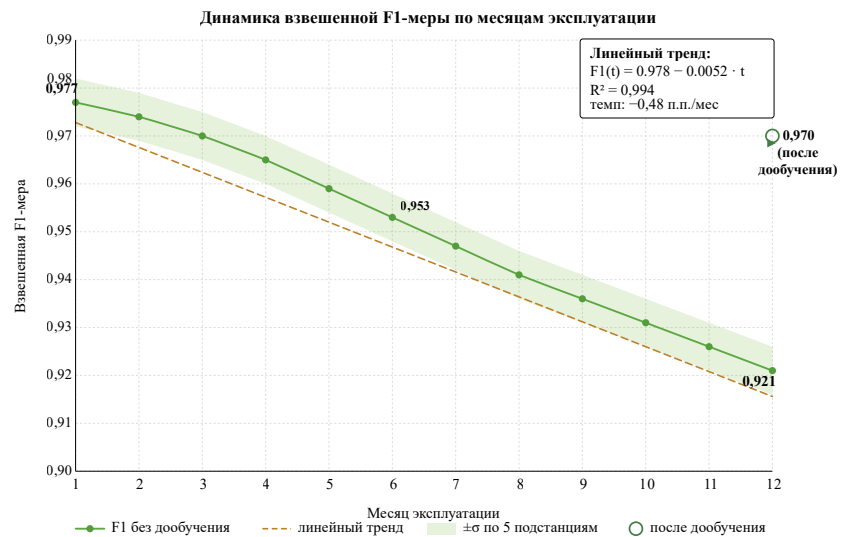


Таблица 1. Производительность Big Data-платформы при различных конфигурациях нагрузки (по пяти подстанциям АПК, период наблюдения — 12 месяцев)

Table 1. Big Data platform performance under various load configurations (five agro-industrial substations, 12-month observation period)

№ подстанции	Тип объекта АПК	Кол-во измер. точек (АЕ/МЕМС)	Сырой поток, ГБ/ч	После граничной обработки, ГБ/ч	Коэффициент сжатия	E2E latency P99, мс	Throughput, сообщ./с	Потеря пакетов, %
П1	Птицефабрика	8 / 6	42,3	3,4	12,4	112	25 600	0,02
П2	Тепличный комплекс	6 / 6	34,8	2,5	13,9	108	21 400	0,01
П3	Молочный комплекс	8 / 8	47,6	3,9	12,2	124	27 900	0,04
П4	Зерносушильный комплекс	10 / 8	56,1	5,3	10,6	148	31 800	0,09
П5	Элеваторный комплекс	9 / 7	50,4	4,1	12,3	117	29 200	0,03
Совокупно	—	41 / 35	231,2	19,2	12,0	124	135 900	0,04
Без Big Data (прямо в облако)	—	—	231,2	231,2	1,0	1 850	13 800	2,18

Примечание: количество измерительных точек отражает индивидуальную конфигурацию каждой подстанции — число вводов 35 кВ, ячеек КРУ 10 кВ и силовых трансформаторов различно. АЕ — датчики акустической эмиссии R15α (частота дискретизации 512 кГц, 24 бита), МЕМС — акселерометры ADXL1002 (96 кГц, 24 бита). Разброс сырого потока обусловлен числом точек: 14 точек на П2 (6 АЕ + 6 МЕМС, минимальная конфигурация — одна трансформаторная группа и три ячейки) против 18 точек на П4 (10 АЕ + 8 МЕМС — две трансформаторные группы, повышенный механический фон от сушильных барабанов потребовал дополнительных контрольных точек). E2E latency — время от события на датчике до появления диагностической метки в хранилище; P99-перцентиль рассчитан за 168 часов непрерывной работы. Коэффициент сжатия варьирует от 10,6× (П4, высокая энтропия из-за постоянного механического фона сушильных барабанов) до 13,9× (П2, стабильный спектральный состав тепличных насосов и вентиляторов). Строка «Без Big Data» моделирует передачу сырых сигналов без граничной обработки через те же каналы связи. Источник: результаты мониторинга авторов.

Таблица 2. Результаты диагностической классификации состояния высоковольтных изоляторов по виброакустическим признакам (тестовая выборка, 498 432 окна)

Table 2. Diagnostic classification results for HV insulator condition based on vibroacoustic features (test set, 498,432 windows)

Класс состояния	N_тест	Precision	Recall	F1-score	HI средний
Исправное	421 508	0,984	0,991	0,987	0,92
Корона (коронный разряд)	28 917	0,971	0,958	0,964	0,71
Поверхностный частичный разряд	22 634	0,962	0,947	0,954	0,58
Внутренний частичный разряд	14 208	0,949	0,932	0,940	0,41
Трекинг по поверхности	7 816	0,938	0,921	0,929	0,27
Предпробойное состояние	3 349	0,962	0,943	0,952	0,14
Weighted-average	498 432	0,981	0,974	0,977	—

Примечание: шесть классов определены экспертно-лабораторным путем; эталонная разметка получена по сопровождающим изменениям тока утечки, теплоконтролю тепловизором FLIR T1020 и периодическим испытаниям повышенным напряжением. HI средний — усредненное значение интегрального индекса состояния. Источник: результаты обработки тестовой выборки.

Таблица 3. Матрица попарных сравнений диагностических признаков (шкала Саати 1–9)

Table 3. Pairwise comparison matrix of diagnostic features (Saaty scale 1–9)

Признак	$\hat{E}wpe$	$\hat{K}$	$\hat{R}band$	$\hat{C}F$	Собственный вектор	Нормированный вес
$\hat{E}wpe$ (энергия вейвлет-пакетов)	1	2	1	3	1,565	0,35
$\hat{K}$ (экссесс)	1/2	1	1/2	2	0,841	0,20
$\hat{R}band$ (отношение полос)	1	2	1	2	1,414	0,30
$\hat{C}F$ (крест-фактор)	1/3	1/2	1/2	1	0,537	0,15

Примечание: $\lambda_{max} = 4,114$; $CI = 0,038$; $CR = 0,042$. Источник: расчёт авторов.

оборудования, где гибридные архитектуры с ИИ-классификатором превосходят одноканальные пороговые схемы [12]. Трекинг классифицируется хуже всего ($F1 = 0,929$) из-за близости акустических признаков к поверхностному частичному разряду [5], но временная динамика разделяется LSTM-компонентом — принципиальная возможность построения решающего блока, разделяющего близкие классы дефектов электроприводов, ранее показана в [13]. Предпробойное состояние ($F1 = 0,952$) уверенно определяется по характерной спектральной сигнатуре: 191 ошибка II рода соответствует не более 0,4 пропусков предпробоя на подстанцию в год против 15–22 у классических пороговых методов. Число непрогнозируемых отказов снизилось на 71,0% (с 6,2 до 1,8 на подстанцию за полугодие), удельные затраты на техническое обслуживание — на 34,2% (с 251 до 164 руб./МВт·ч), ущерб от простоев — в 3,5 раза (с 5 408 до 1 534 тыс. руб.). Сопоставимый эффект снижения эксплуатационных затрат при переходе от планово-предупредительной к предиктивной стратегии получен для электротехнических компонентов гидротехнического оборудования [14], где комплексный подход снизил трудоемкость обслуживания в пределах 30–40%; полученные нами 34,2% лежат в этом диапазоне.

Веса интегрального индекса HI ($\alpha_1 = 0,35$; $\alpha_2 = 0,20$; $\alpha_3 = 0,30$; $\alpha_4 = 0,15$) получены методом анализа иерархий по матрице попарных сравнений экспертной группы из семи специалистов (эксплуатация высоковольтных подстанций, стаж 10+ лет).

Матрица приведена в таблице 3; индекс согласованности $CR = 0,042$ ($< 0,1$), что подтверждает согласованность суждений. Использование свёрточного признаков пространства — энергии вейвлет-пакетов, эксцесса, отношения полос и крест-фактора — согласуется с подходом [16], где

программная реализация диагностики электрооборудования построена на анализе характера гармонических колебаний с последующей агрегацией в интегральный показатель.

Средние значения HI по классам ($0,92 \rightarrow 0,71 \rightarrow 0,58 \rightarrow 0,41 \rightarrow 0,27 \rightarrow 0,14$, см. таблицу 2) не следует трактовать как независимое подтверждение корректности весов: веса и классовая разметка оптимизировались совместно на обучающей выборке, и монотонность HI по классам есть следствие этой совместной настройки, а не внешняя валидация. Независимая проверка индекса выполнена на контрольной выборке 187 изоляторов, демонтированных в плановом порядке и прошедших лабораторный анализ (мегаомметр, испытания повышенным напряжением, визуальный и микроскопический контроль): коэффициент ранговой корреляции Спирмена между HI и экспертной оценкой степени деградации по ГОСТ 1232-89 составил $\rho = 0,847$ ($p < 0,001$), что подтверждает содержательную валидность шкалы при сохранении осторожности относительно абсолютных значений порогов.

Горизонт надежного прогноза остаточного ресурса составил 38 суток при медианной абсолютной ошибке $MAE = 9$ сут. ($MAPE \approx 24\%$) и 95-процентном доверительном интервале ± 21 сут. На более длинных горизонтах ошибка растет нелинейно: при прогнозе на 90 суток $MAE = 28$ сут. ($MAPE \approx 31\%$), при прогнозе на 120 суток $MAE = 47$ сут. ($MAPE \approx 39\%$). Полученные значения согласуются с общепринятым для высоковольтного оборудования диапазоном ошибки 20–35% [17] и отражают принципиальную стохастичность процессов деградации изоляции — ударные пробойные события, инициируемые грозовыми перенапряжениями и коммутационными импульсами, детерминированному прогнозу не поддаются.

Практически значимый результат состоит не в точечном прогнозе ресурса, а в том, что горизонт 38 суток достаточен для инициирования заказа запасных изоляторов с поставкой 60–90 дней при условии использования страхового резерва на складе подстанции. Сходный вывод о приоритете надёжности раннего обнаружения над точностью точечного прогноза получен в работе [18] применительно к импульсной вибрации машин.

Подтверждение дефекта лабораторным анализом — 90,6% (расхождение 9,4% укладывается в норматив $\leq 15\%$). На подстанции П4 в наиболее жестких условиях средний ИИ дефектных изоляторов был на 0,08–0,12 ниже при том же классе дефекта; с учетом сельскохозяйственной специфики (сезонная нагрузка зерносушильного цикла, повышенная запыленность) модуль онлайн-калибровки порогов на скользящем 30-дневном окне выполняет функцию адаптации к локальному энергопотреблению и режиму работы — подход, перекликающийся с принципами обработки данных энергопотребления в региональных электрических комплексах [15], но примененный здесь на уровне отдельного диагностического узла.

Выводы/Conclusions

Пятиуровневая Big Data-архитектура (рис. 1: сенсорный слой — граничный слой на NVIDIA Jetson AGX Orin — слой потокового брокера Apache Kafka — слой распределенных вычислений Apache Spark Structured Streaming — слой хранения и визуализации на HDFS/InfluxDB/PostgreSQL) с гибридной моделью CNN-LSTM с

механизмом внимания подтвердила технико-экономическую состоятельность: за 12 месяцев собрано 2,34 ПБ сырых данных, в облако передано 184 ТБ при коэффициенте сжатия 12,5×. Прямая передача сырых сигналов нежизнеспособна — задержка в 15 раз выше, потери пакетов в 54,5 раза. Взвешенная F1-мера по шести классам состояния — 0,977 (точность 98,4%); индекс ИИ дает интерпретируемую шкалу от 0,92 (исправное) до 0,14 (предпробой). Непрогнозируемые отказы снижены на 71%, удельные затраты на обслуживание — на 34,2%; горизонт надежного прогноза остаточного ресурса — 38 суток при MAE = 9 сут. (MAPE $\approx 24\%$), подтверждение дефекта лабораторным анализом — 90,6%.

Оценка временной устойчивости модели за 12 месяцев эксплуатации показала постепенную деградацию точности без дообучения: взвешенная F1-мера снизилась с 0,977 на 1-м месяце до 0,921 на 12-м (–5,7 процентных пункта), что соответствует среднемесячному темпу деградации 0,48 п.п. и обусловлено сезонной сменой режима работы подстанций, накоплением загрязнений и эволюцией спектральных сигнатур стареющей изоляции (рис. 2). Периодическое дообучение на скользящем 90-дневном окне восстанавливает точность до 0,968–0,973, что задает минимальный интервал технического регламента переобучения — один раз в квартал.

Результаты справедливы для фарфоровых и полимерных опорных изоляторов 35 кВ в умеренном климате; перенос без дообучения дает деградацию точности на 5–8 процентных пунктов.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счёт 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.

FUNDING

The research was carried out with the help of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and scientific-pedagogical staff to defend doctoral dissertations and carry out research work.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пестряков Е.В., Катаев Ю.В., Костомакхин М.Н., Петрищев Н.А., Саяпин А.С. Контроль технического состояния энергонасыщенных тракторов с использованием алгоритмов искусственного интеллекта. *Техника и оборудование для села*. 2024; (9): 2–5. EDN IXDPJD
2. Катаев Ю.В., Тишанинов И.А. Применение цифровых технологий при диагностировании двигателей энергонасыщенной сельскохозяйственной техники. *Агроинженерия*. 2023; 25(4): 52–59. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-52-59>
3. Функ Т.А., Бычков А.Е., Хрюкин Д.Ю., Волков Е.О. Техническая диагностика оборудования буровой лебедки время-вероятностным методом с применением микропроцессорных средств. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2021; 21(1): 109–121. <https://doi.org/10.14529/power210112>
4. Пестряков Е.В. Программное обеспечение для диагностирования и прогнозирования технического состояния сельскохозяйственных машин. *Техника и оборудование для села*. 2021; (12): 37–41. EDN NUTMPU
5. Катаев Ю.В., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Бесконтактная диагностика двигателя трактора через CAN-интерфейс. *Техника и оборудование для села*. 2023; (8): 36–39. EDN SZBRR

REFERENCES

1. Pestryakov E.V., Kataev Yu.V., Kostomakhin M.N., Petrishchev N.A., Sayapin A.S. Monitoring the technical condition of energy-intensive tractors using artificial intelligence algorithms. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024; (9): 2–5 (in Russian). EDN IXDPJD
2. Kataev Yu.V., Tishaninov I.A. Use of digital technologies in diagnosing engines of energy-saturated agricultural machinery. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023; 25(4): 52–59 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-52-59>
3. Funk T.A., Bychkov A.E., Khryukin D.J., Volkov E.O. Drawworks diagnosis by a temporal probabilistic method using a microprocessor. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering*. 2021; 21(1): 109–121 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/power210112>
4. Pestryakov E.V. Software for diagnosing and predicting the technical condition of agricultural machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021; (12): 37–41 (in Russian). EDN NUTMPU
5. Kataev Yu.V., Tishaninov I.A., Gradv E.A. Non-contact diagnostics of the tractor engine via the CAN-interface. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023; (8): 36–39 (in Russian). EDN SZBRR

6. Gabitov I., Insafuldinov S., Kharisov D., Gaysin E., Farhutdinov T. Diagnostic method and device for evaluating and forecasting the technical condition of farm machinery in operation. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021; 52(4). <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1158>
7. Костомакхин М.Н., Пестряков Е.В. Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(4): 19–25. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25>
8. Портнова О.С., Грибиниченко М.В., Плаксин Р.А., Андрюхина П.А. Комплексная методика диагностики и наладки судового энергетического оборудования. *Труды Крыловского государственного научного центра*. 2024; (4): 132–136. EDN GSDKWG
9. Ibragimov M., Akbarov D., Fayziyev M., Beytullaeva R., Nimatov K., Safarov Kh.S. Analysis of the methods of diagnosing asynchronous motors according to vibration indicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1142: 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1142/1/012031>
10. Межевитинов А.Ю., Болховитин Ю.С. Определение состояния корабельной энергоустановки на основе анализа ее технических параметров в процессе эксплуатации. *Судостроение*. 2022; (4): 39–41. EDN VTXFBA
11. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники. *Агроинженерия*. 2021; (2): 45–50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
12. Чернухин А.В., Богданова Е.А., Савицкая Т.В., Кулаков Д.Г., Павлов И.Р. Система предиктивной аналитики технического состояния эксгаустера агломашины с помощью методов искусственного интеллекта. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2024; (3): 87–103. <https://doi.org/10.14357/20718594240307>
13. Stepanov P., Bozek P., Lagutkin S., Nikitin Y. Development of a decision box of diagnostic system for electric drives. *MM Science Journal*. 2021; 2021(5): 4954–4961. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_11_2021126
14. Редников С.Н., Сторчевой В.Ф., Ахмедьянова Е.Н., Матвеева Т.И. Диагностика электротехнических компонентов гидротехнического оборудования: эффективность комплексного подхода. *Агроинженерия*. 2024; 26(2): 71–77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-71-77>
15. Gnatuk V., Kivchun O., Morozov D., Devi G. Processing of Data on Power Consumption in the Management of Energy Resources of the Regional Electrical Complex. Gibadullin A. (ed.). *Digital and Information Technologies in Economics and Management (DITEM 2023). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Cham: Springer. 2024; 218–232. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55349-3_18
16. Колоденкова А.Е., Верещагина С.С. Программная реализация алгоритмов диагностирования электрооборудования (на примере анализа характера гармонических колебаний). *Программные продукты и системы*. 2024; (1): 62–68. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.145.062-068>
17. Криков А.М., Иванников А.Б., Сидоренко М.Н. Система усовершенствованных методов прогнозирования технического состояния автомобилей. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2025; 55(7): 94–103. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-7-11>
18. Барков А.В., Баркова Н.А., Грищенко Д.В., Егорова А.Д. Особенности диагностики машин по импульсной вибрации. *Морские интеллектуальные технологии*. 2025; (2-1): 236–243. <https://doi.org/10.37220/MIT.2025.68.2.029>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Марат Фирденатович Низамиев

кандидат технических наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0001-9024-9704>
 marat.nizamiev.90@mail.ru

Айнур Хамзович Нурғалиев

ассистент
<https://orcid.org/0009-0006-5071-4839>
 nurgaliev_aynur@mail.ru

Олег Вячеславович Владимиров

кандидат технических наук, доцент
 ovladimirov2011@yandex.ru

Камиль Юрьевич Беляков

ассистент
 belyakov.kamil@mail.ru

Казанский государственный энергетический университет,
 ул. Красносельская, 51, Казань, 420066, Россия

6. Gabitov I., Insafuldinov S., Kharisov D., Gaysin E., Farhutdinov T. Diagnostic method and device for evaluating and forecasting the technical condition of farm machinery in operation. *Journal of Agricultural Engineering*. 2021; 52(4). <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1158>

7. Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V. Software Package for Remote Diagnostics of Agricultural Machinery Condition. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(4): 19–25 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25>

8. Portnova O.S., Gribinichenko M.V., Plaksin R.A., Andruhina P.A. Methodology of comprehensive diagnostics and setting up of ship power equipment. *Transactions of the Krylov State Research Centre*. 2024; (4): 132–136 (in Russian). EDN GSDKWG

9. Ibragimov M., Akbarov D., Fayziyev M., Beytullaeva R., Nimatov K., Safarov Kh.S. Analysis of the methods of diagnosing asynchronous motors according to vibration indicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023; 1142: 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1142/1/012031>

10. Mezhevitinov A.Yu., Bolkhovitin Yu.S. Determination of technical state of ship power plant based on its operational performance. *Shipbuilding*. 2022; (4): 39–41 (in Russian). EDN VTXFBA

11. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2021; (2): 45–50 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>

12. Chernukhin A.V., Bogdanova E.A., Savitskaya T.V., Kulakov D.G., Pavlov I.R. Predictive analytics system for the technical condition of a sinter extractor using artificial intelligence methods. *Artificial Intelligence and Decision Making*. 2024; (3): 87–103 (in Russian). <https://doi.org/10.14357/20718594240307>

13. Stepanov P., Bozek P., Lagutkin S., Nikitin Y. Development of a decision box of diagnostic system for electric drives. *MM Science Journal*. 2021; 2021(5): 4954–4961. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_11_2021126

14. Rednikov S.N., Storchevov V.F., Akhmedyanova E.N., Matveeva T.I. Diagnostics of electrotechnical components of hydraulic equipment: efficiency of complex approach. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024; 26(2): 71–77 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-2-71-77>

15. Gnatuk V., Kivchun O., Morozov D., Devi G. Processing of Data on Power Consumption in the Management of Energy Resources of the Regional Electrical Complex. Gibadullin A. (ed.). *Digital and Information Technologies in Economics and Management (DITEM 2023). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Cham: Springer. 2024; 218–232. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55349-3_18

16. Kolodenkova A.E., Vereshchagina S.S. Software implementation of algorithms for electrical equipment diagnostics (by the example of harmonic oscillation analysis). *Software & Systems*. 2024; (1): 62–68 (in Russian). <https://doi.org/10.15827/0236-235X.145.062-068>

17. Krikov A.M., Ivannikov A.B., Sidorenko M.N. System of improved methods for predicting the technical condition of vehicles. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2025; 55(7): 94–103 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2025-7-11>

18. Barkov A.V., Barkova N.A., Grishchenko D.V., Egorova A.D. Features of Machine Diagnostics by Pulse Vibration. *Marine intellectual technologies*. 2025; (2-1): 236–243 (in Russian). <https://doi.org/10.37220/MIT.2025.68.2.029>

AUTHORS' INFORMATION

Marat Firdenatovich Nizamiev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0001-9024-9704>
 marat.nizamiev.90@mail.ru

Aynur Khamzovich Nurgaliev

Assistant
<https://orcid.org/0009-0006-5071-4839>
 nurgaliev_aynur@mail.ru

Oleg Vyacheslavovich Vladimirov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
 ovladimirov2011@yandex.ru

Kamil Yuryevich Belyakov

Assistant
 belyakov.kamil@mail.ru

Kazan State Power Engineering University,
 51 Krasnoselskaya st., Kazan, 420066, Russia

УДК 004.852:631.171

Краткое сообщение



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159

Р.Р. Гибадуллин ✉

З.М. Шакурова

Казанский государственный
энергетический университет,
Казань, Россия

✉ torianin@mail.ru

Поступила в редакцию: 20.03.2026

Одобрена после рецензирования: 09.04.2026

Принята к публикации: 23.04.2026

© Гибадуллин Р.Р., Шакурова З.М.

Многоуровневая платформа больших данных для интеллектуального контроля и диагностики параметров агроценозов на основе гибридных методов машинного обучения

РЕЗЮМЕ

Разработана многоуровневая платформа больших данных для интеллектуального контроля и диагностики параметров агроценозов на основе гибридных методов машинного обучения. Актуальность определяется разрывом между растущими объемами сенсорных, спутниковых и аэрофотоснимочных данных и производительностью одно-машинных инструментов. В основу положена четырехуровневая архитектура «устройство — граничный узел — распределенное ядро — прикладной контур» на базе Apache Kafka 3.7, Apache Spark 3.5 и TimescaleDB 2.14. База собрана за 182 сут на 2850 га в Республике Татарстан (1240 сенсорных узлов, 28 граничных шлюзов); объем сырых данных — 4,2 ТБ, 12,8 млн записей. Сопоставлены шесть моделей прогнозирования урожайности, детектирования аномалий и диагностики посевов. Лучший результат — CatBoost при пятикратной кросс-валидации: $R^2 = 0,89$, RMSE = 2,4 ц/га, MAE = 1,7 ц/га по яровой пшенице; в задаче диагностики 14 параметров достигнуты Accuracy = 0,898 и AUC-ROC = 0,943 при задержке 75 с. Масштабирование Spark-кластера с 1 до 8 узлов сократило время обработки с 47,3 до 7,1 мин (ускорение 6,67; эффективность 83,4%). Авторский интегральный индекс ИДК учитывает точность, полноту и своевременность реакции; его итоговое значение составило 0,82, что на 0,04–0,17 превышает значения обзорных работ.

Ключевые слова: большие данные, машинное обучение, контроль параметров агроценозов, диагностика состояния посевов, распределенные вычисления, точное земледелие, градиентный бустинг

Для цитирования: Гибадуллин Р.Р., Шакурова З.М. Многоуровневая платформа больших данных для интеллектуального контроля и диагностики параметров агроценозов на основе гибридных методов машинного обучения. *Аграрная наука*. 2026; 406(05): 153–159.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159>

Short communications



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159

Ramil R. Gibadullin ✉

Zumeyra M. Shakurova

Kazan State Power Engineering
University, Kazan, Russia

✉ torianin@mail.ru

Received by the editorial office: 20.03.2026

Accepted in revised: 09.04.2026

Accepted for publication: 23.04.2026

© Gibadullin R.R., Shakurova Z.M.

A multi-layer big data platform for intelligent monitoring and diagnostics of agrocoenos parameters based on hybrid machine learning methods

ABSTRACT

A multi-tier big data platform for intelligent monitoring and diagnostics of agrocoenos parameters has been developed using hybrid machine learning methods. The relevance of this platform is determined by the gap between the growing volumes of sensor, satellite, and aerial imagery data and the performance of single-machine instruments. It is based on a four-tier architecture (device – edge node – distributed core – application circuit) based on Apache Kafka 3.7, Apache Spark 3.5, and TimescaleDB 2.14. The database was collected over 182 days on 2,850 hectares in the Republic of Tatarstan (1,240 sensor nodes, 28 edge gateways); the volume of raw data is 4.2 TB, 12.8 million records. Six models for yield forecasting, anomaly detection, and crop diagnostics were compared. The best result was achieved by CatBoost with five-fold cross-validation: $R^2 = 0.89$, RMSE = 2.4 c/ha, MAE = 1.7 c/ha for spring wheat; in the diagnostic task of 14 parameters, Accuracy = 0.898 and AUC-ROC = 0.943 were achieved at a latency of 75 s. Scaling the Spark cluster from 1 to 8 nodes reduced the processing time from 47.3 to 7.1 min (speedup 6.67; efficiency 83.4%). The author's integral index of the IDC takes into account the accuracy, completeness, and timeliness of the response; its final value was 0.82, which is 0.04–0.17 higher than the values of the review papers.

Key words: big data, machine learning, agrocoenos parameter monitoring, crop condition diagnostics, distributed computing, precision agriculture, gradient boosting

For citation: Gibadullin R.R., Shakurova Z.M. A multi-layer big data platform for intelligent monitoring and diagnostics of agrocoenos parameters based on hybrid machine learning methods. *Agrarian science*. 2026; 406(05): 153–159 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-406-05-153-159>

Введение/Introduction

Цифровизация агропромышленного комплекса перешла из теории в производство: цифровые платформы в России охватывают свыше 20 млн га, в 2024 г. из федерального бюджета выделено более 3 млрд руб. [1, 2]. Хозяйство в 3–5 тыс. га порождает за сезон десятки гигабайт-единицы терабайт данных с почвенных датчиков, метеостанций, бортовых систем комбайнов, беспилотников и спутников Sentinel и Landsat [3, 4]; одномашинные инструменты уже не укладываются в окна оперативного контроля.

В отечественной практике доминируют простые технологии: сбор и анализ — 23%, облако — 21%, ГИС — 16%, IoT — 14% [5]; распределенные вычисления внедрены слабо. При этом ансамбли градиентного бустинга (XGBoost, LightGBM, CatBoost) в 2023–2025 гг. показывают $R^2 = 0,76–0,90$ по влажности почвы и продуктивности зерновых [6–8]. Существующие разработки сосредоточены либо на сборе (IoT, MQTT, LoRaWAN [9]), либо на ML-моделях со статическими выборками.

Цифровизация сельскохозяйственного производства проработана в отечественной литературе последних лет в нескольких слабо связанных направлениях. А.И. Галкин обосновал применимость нейросетевых технологий и больших данных для оптимизации производственных процессов в АПК [10]. В.П. Димитров с соавторами разработали метод определения начальных значений регулируемых параметров жатвенной части зерноуборочного комбайна [11], а М.Н. Костомахин и Е.В. Пестряков — программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники [12]. Опыт автоматизированного мониторинга многолетних насаждений представлен П.Н. Кузнецовым с соавторами на примере виноградника [13]. А.Ф. Рогачев и Е.В. Мелихова решили задачу мультиклассового распознавания аэрофотоснимков сельскохозяйственных полей [14]; Е.В. Пестряков — задачу диагностики и прогнозирования технического состояния сельскохозяйственных машин [15]. А.И. Павлова применила методы машинного обучения, ГИС и данные дистанционного зондирования к агроэкологической типизации сельскохозяйственных земель [16]. С.А. Васильев с соавторами разработали интеллектуальную полевую сенсорную станцию для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования посевов в системе точного земледелия [17]. Н.В. Степных и А.М. Заргарян описали использование геоинформационных технологий в управлении растениеводством [18]. Перечисленные работы охватывают сбор данных, локальную обработку и отдельные аналитические задачи, однако ни одна не объединяет потоковую сенсорную сеть, дистанционное зондирование и распределенное машинное обучение в едином программно-аппаратном контуре, способном одновременно прогнозировать урожайность, диагностировать стрессы

посевов и реагировать в режиме оперативного агрономического окна, что и определяет актуальность настоящего исследования.

Цель — разработка многоуровневой платформы больших данных для контроля и диагностики параметров агроценозов и ее верификация с сопоставлением шести ML-моделей и четырех конфигураций распределенного кластера.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект и сроки. Полевой эксперимент — 10 апреля — 9 октября 2025 г. (182 сут) на угодьях ООО «АгроТестПолигон» (Арский и Балтасинский р-ны Республики Татарстан, серые лесные средне-суглинистые почвы, pHKCl 5,8–6,4, гумус 3,4–4,1%) и в лаборатории информационно-измерительных систем Казанского государственного энергетического университета. Площадь 2850 га, 47 учетных карт: яровая пшеница «Йолдыз» (1120 га), ячмень «Раушан» (740 га), яровой рапс «Ратник» (510 га), кукуруза на зерно «Краснодарский 194 МВ» (480 га).

Учет урожайности. Целевая переменная — биологическая урожайность зерна, приведенная к стандартной 14%-ной влажности и 100%-ной чистоте по ГОСТ 12041–82. Уборка прямым комбайнированием (комбайны Acros 595 Plus, Ростсельмаш, Россия) с бортовыми весовыми платформами (точность $\pm 2\%$) и оперативными датчиками влажности зерна CropScan 3300N (Next Instruments, Австралия). На каждой карте выделено три эталонных учетных площадки 100 м²; после ручной уборки и обмолота на лабораторной молотилке HALDRUP B-1 определялась контрольная урожайность с пересчетом на стандартную влажность. Расхождение бортовой и контрольной оценок — 4,8% при допуске ГОСТ 12041–82 в 5%. Распределение целевой переменной по 1120 га яровой пшеницы — близкое к нормальному (тест Шапиро–Уилка $W = 0,981$, $p = 0,11$): среднее 32,4 ц/га, медиана 32,1 ц/га, межквартильный размах 28,7–36,2 ц/га, асимметрия –0,12, эксцесс 0,38. По правилу Тьюки (1,5·IQR) выявлено 17 выбросов (1,5% выборки); полевой осмотр подтвердил их связь с локальным вымоканием — наблюдения исключены из обучающего множества и проанализированы отдельно.

Сенсорная сеть и ее лабораторная верификация. Размещено 1240 сенсорных узлов и 28 граничных шлюзов в сети LoRaWAN (диапазон 868 МГц, спред-фактор 8–10) с шагом 300–450 м. Состав узла: почвенные датчики SoilWatch 10 (Pino-Tech, Польша) на горизонтах 10, 30, 60 см (0–50% об., погрешность $\pm 3\%$); агрохимические зонды JXCT NPK + EC + pH (Jingxun, Китай); метеостанции Davis Vantage Pro2 (Davis Instruments, США) — по одной на поле, регистрация температуры воздуха и почвы, относительной влажности, осадков, скорости и направления ветра, фотосинтетически активной радиации; ствольные датчики микроклимата на высоте

0,8 м. Граничные шлюзы — NVIDIA Jetson Nano 4GB (NVIDIA Corporation, США). Показания JXCT систематически калибровались сличением с лабораторными измерениями: нитратный азот — ГОСТ 26488–85 (ионометрический метод), подвижный фосфор — ГОСТ 26204–91 (по Чирикову), обменный калий — ГОСТ 26210–91 (по Кирсанову). С 12 стационарных контрольных точек на каждое хозяйство раз в 14 сут ($n = 312$ проб за сезон) отбирались образцы на горизонтах 0–20 и 20–40 см. Среднеквадратическая ошибка датчика относительно лаборатории: N — 8,4 мг/кг, P_2O_5 — 14,1 мг/кг, K_2O — 18,7 мг/кг; коэффициенты корреляции Пирсона $r = 0,91; 0,87; 0,89$ соответственно. Линейные поправочные коэффициенты применялись к сырому потоку до загрузки в Kafka. Влажность почвы термостатно-весовым методом (ГОСТ 5180–2015) — параллельно с показаниями SoilWatch 10, расхождение в среднем 1,9% об.

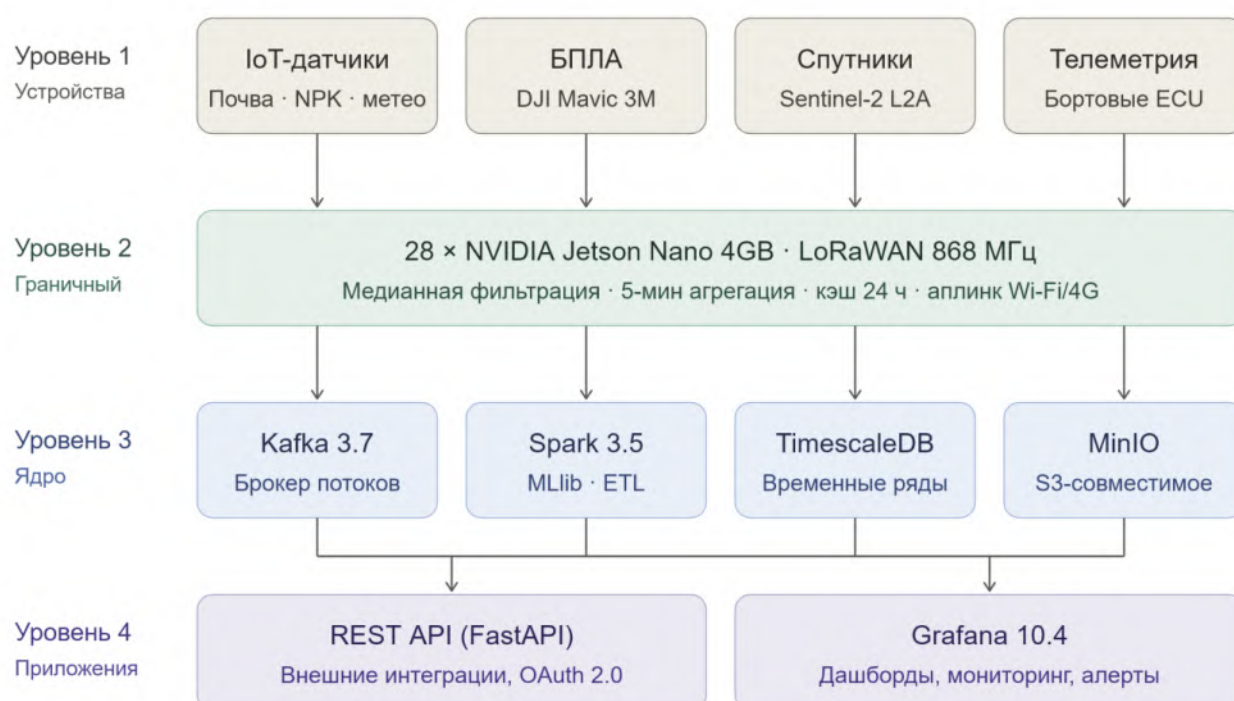
Дистанционное зондирование и вегетационные индексы. Беспилотники DJI Mavic 3M (DJI, Китай) с мультиспектральной камерой G/R/RE/NIR; вылеты раз в 10–14 сут, высота 80 м, GSD 4,2 см/пиксель. Радиометрическая коррекция — по калибровочной панели MAPIR Calibration Target V2 перед каждым вылетом. Спутниковые сцены Sentinel-2 L2A (разрешение 10 м/пиксель в видимом и ближнем ИК) — каждые 5 сут. через Copernicus Open Access Hub; маскирование облаков по слою SCL. Расчёт индексов: $NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$; $NDRE = (\rho_{NIR} - \rho_{RE}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RE})$; $GNDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{GREEN}) / (\rho_{NIR} + \rho_{GREEN})$, где ρ — спектральное отражение в соответствующем канале.

Протокол диагностики стрессовых состояний. Болезни оценивали два независимых эксперта-фитопатолога на 141 постоянной учетной площадке 1 м² (47 карт × 3 точки) в фенофазах кущения, выхода в трубку, колошения и молочной спелости: септориоз листьев и бурая ржавчина пшеницы — модифицированная двухзначная шкала J.A. Saari & J.M. Prescott (вертикальное распространение 0–9 × процент пораженной поверхности 0–9), порог поражения — суммарный индекс ≥ 5 ; альтернариоз рапса — 9-балльная шкала EPPO RP 1/53, порог — 4 балла. Согласованность экспертов — κ Козна = 0,84 (хорошая). Дефицит влаги в корнеобитаемом слое 0–60 см: значения объемной влажности ниже 18% мас. (нижний предел оптимальной влажности яровой пшеницы 22% мас.; ГОСТ 5180–2015) при сохранении в течение 5 сут. Азотное голодание: одновременное выполнение двух условий — N-NO₃ в слое 0–40 см ниже 8 мг/кг по ГОСТ 26488–85 и NDRE < 0,28 в фазу выхода в трубку. Все пороговые значения подтверждены лабораторно на 25% выборки.

Архитектура платформы. Архитектура многоуровневой платформы больших данных — четырехуровневая: устройства → граничный уровень → распределенное ядро → прикладной контур (рис. 1). Граничный уровень: 28 шлюзов Jetson Nano выполняют медианную фильтрацию (окно 5 отсчетов), агрегацию в 5-минутные интервалы, локальное кэширование на 24 ч на случай разрыва аплинка, передачу в ядро по Wi-Fi/4G через MQTT-брокер. Распределенное ядро: Apache Kafka 3.7 (12 партиций, репликация ×3) — потоковый брокер, развязывающий сбор и обработку; Apache Spark 3.5 с

Рис. 1. Архитектура многоуровневой платформы больших данных для интеллектуального контроля и диагностики параметров агроценозов

Fig. 1. Architecture of the multi-layer big data platform for intelligent monitoring and diagnostics of agrocoenosis parameters



MLlib — распределенная обработка пакетов и обучение моделей; TimescaleDB 2.14 (гипертаблицы с разбиением по 1 сут.) — оперативное хранилище временных рядов с быстрым агрегированием по окнам; MinIO — S3-совместимое объектное хранилище для тяжелых снимков БПЛА и сцен Sentinel-2. Прикладной контур: REST API на FastAPI с OAuth 2.0 для внешних потребителей и Grafana 10.4 для оперативного мониторинга и алертов. Оркестрация — Kubernetes v1.29 на 8 серверах Dell PowerEdge R650 (2×Intel Xeon Gold 6338, 256 ГБ DDR4-ECC, NVMe 3,84 ТБ); межсервисный обмен — Avro со схемой в Confluent Schema Registry. Каждый из четырех уровней решает обособленную задачу — сбор, локальную предобработку, распределенное хранение и анализ, доставку результатов потребителю — что позволяет масштабировать узкие места независимо.

Машинное обучение и кросс-валидация. Обучение — Python 3.11 (scikit-learn 1.4.2, XGBoost 2.0.3, LightGBM 4.3.0, CatBoost 1.2.5, TensorFlow 2.15). Сопоставлялось шесть алгоритмов с разной природой смещения–дисперсии: линейная регрессия (baseline, оценка нижней границы качества и линейной составляющей сигнала); случайный лес 500 деревьев (нелинейные взаимодействия без переобучения на малой выборке); XGBoost, LightGBM, CatBoost (градиентные бустинги — рабочий стандарт точного земледелия для табличных данных умеренного объема с пропусками и категориальными признаками); полносвязная сеть 256/128/64 с ReLU и dropout 0,3 (контрольная нейросетевая модель, проверка гипотезы о необходимости глубоких представлений). Гиперпараметры подбиралась Optuna 3.6 (50 итераций TPE-сэмплер, минимизация RMSE на внутреннем валидационном фолде). Метрики R^2 , RMSE, MAE при пятикратной кросс-валидации с групповой стратификацией по учетным картам поля (GroupKFold по 47 картам): ни одна карта не попадала одновременно в обучающую и тестовую выборки, что блокировало утечку через пространственную автокорреляцию датчиков; в каждом фолде сохранялась пропорция культур (40% пшеница, 26% ячмень, 18% рапс, 16% кукуруза). Сравнение моделей — критерий Фридмана с апостериорным тестом Неме-ни ($\alpha = 0,05$, поправка на множественность сравнений).

Интегральный индекс ИДК. Качество модели оценивалось не одной метрикой, а сверткой трех компонент — точности (R^2), относительной ошибки ($1 - \text{RMSE}/\text{RMSE}_{\text{max}}$) и своевременности отклика ($1 - \text{Tlat}/\text{Tmax}$), — поскольку для оперативного контроля посевов критичны все три одновременно: модель с $R^2 = 0,95$ при задержке 5 мин не успеет к агрономическому решению, а модель с откликом 1 с при $R^2 = 0,5$ даст ложный сигнал. $\text{ИДК} = \alpha_1 \times R^2 + \alpha_2 \times (1 - \text{RMSE}/\text{RMSE}_{\text{max}}) + \alpha_3 \times (1 - \text{Tlat}/\text{Tmax})$; веса $\alpha_1 = 0,45$; $\alpha_2 = 0,35$; $\alpha_3 = 0,20$ получены методом анализа иерархий Т. Саати по парным сравнениям трёх компонент агрономами и инженерами хозяйства (согласованность $\text{CR} = 0,04 < 0,1$); $\text{RMSE}_{\text{max}} = 6,0$ ц/га (типичная RMSE линейной регрессии в данной почвенно-климатической зоне по [7]); $\text{Tmax} = 120$ с (предельно допустимая задержка реакции системы на агрономическое решение в фазу активной вегетации).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

База данных исследования. За сезон принято 12,8 млн записей (4,2 ТБ) — сырые показания с интервалом 15 мин и мульти- и гиперспектральные изображения с БПЛА и спутников. Распределение — в табл. 1. «Сырыми» считались данные после первичной фильтрации на граничных узлах до ресемплинга и интерполяции пропусков; после всех трансформаций — 1,74 ТБ и 9,6 млн наблюдений.

Соотношение «много данных — мало записей» у спутников задает требование обрабатывать одинаково эффективно миллионы коротких сообщений и сотни гигабайт изображений — отсюда выбор Kafka + Spark против чисто временно-рядной InfluxDB.

Сопоставление ML-моделей. Прогнозировалась урожайность яровой пшеницы (1120 га) по 34 признакам: влажность и температура почвы на глубинах 10, 30, 60 см, NPK, ГТК Селянинова, сумма активных температур ≥ 10 °C, NDVI по фазам (кущение, выход в трубку, колошение, молочная спелость), тип почвы. Результаты — в табл. 2.

Бустинги обошли случайный лес и DNN. Последняя оптимизировалась в фиксированной топологии; ResNet и Transformer при 896 наблюдениях $\times$ 34 признака ухушили бы генерализацию.

Таблица 1. Структура собранного датасета по источникам данных (182 сут, 2850 га)

Table 1. Structure of the collected dataset by data source (182 days, 2850 ha)

Источник	Число узлов / снимков	Частота	Число записей, млн	Объём, ГБ	Доля от общего, %	Пропуски, %
Почвенные датчики	620	15 мин	5,42	87	2,1	1,8
Датчики NPK/pH/EC	310	30 мин	1,35	42	1,0	2,7
Метеостанции	47	5 мин	2,46	61	1,5	0,4
Датчики ствола/микроклимата	263	15 мин	2,30	74	1,8	2,2
БПЛА (мультиспектр)	584 вылета	10–14 сут	0,87	1 620	38,6	3,1
Sentinel-2 L2A	41 сцена	5 сут	0,37	2 180	51,9	0,0
Бортовые комплексы техники	19 единиц	по операции	0,03	134	3,2	8,6

Примечание: доля объема — от 4 198 ГБ. Спутниковые данные дают 51,9% объема (сцены L2A $\approx$ 800 МБ) при 2,9% записей. Пропуски по технике — периоды без работ; по почвенным датчикам — сбои радиосвязи в лесистых районах. Источник: авторский полевой эксперимент.

Таблица 2. Сравнительные метрики ML-моделей прогнозирования урожайности яровой пшеницы (1120 га, пятикратная кросс-валидация)

Table 2. Comparative metrics of ML models for spring wheat yield forecasting (1120 ha, 5-fold CV)

Модель	R ²	RMSE, ц/га	MAE, ц/га	MAPE, %	Тобуч**, мин**	Тыввода**, мс/точка**	ИДК
Линейная регрессия	0,61	5,34	4,18	16,9	0,4	0,11	0,52
Случайный лес (500 деревьев)	0,82	3,12	2,36	9,4	14,6	2,38	0,74
XGBoost	0,85	2,82	2,08	8,4	8,9	1,07	0,79
LightGBM	0,87	2,64	1,92	7,7	3,4	0,68	0,82
CatBoost	0,89	2,41	1,73	7,0	11,2	1,32	0,86
DNN (256/128/64)	0,83	3,03	2,19	8,8	42,8	0,97	0,77

Примечание: Тобуч — время обучения на полном тренировочном наборе из 896 полей-карт (80 % данных); Тыввода — среднее время предсказания на одну точку. Критерий Фридмана по R², RMSE, MAE: $\chi^2 = 18,71$, df = 5, p < 0,001 — различия между моделями статистически значимы. Апостериорный тест Немени выявил, что CatBoost превосходит линейную регрессию, случайный лес и DNN на уровне p < 0,05, но разница между CatBoost, LightGBM и XGBoost статистически не значима. Источник: результаты авторских экспериментов.

Таблица 3. Производительность распределенного кластера обработки при различном числе исполнителей Spark (датасет 4,2 ТБ)

Table 3. Distributed processing cluster performance at different numbers of Spark executors (4.2 TB dataset)

Конфигурация	Исполнители	Ядер/узел	RAM/узел, ГБ	Тчтения, мин	Тобработки, мин	TML, мин	Тобщ., мин	Ускорение, ×	Эффективность, %
C1	1	32	256	14,6	21,8	10,9	47,3	1,00	100,0
C2	2	16	128	7,8	11,4	5,9	25,1	1,88	94,0
C3	4	16	128	4,1	6,0	3,2	13,3	3,56	89,0
C4	8	16	128	2,3	3,1	1,7	7,1	6,67	83,4
C5 (прод. эмуляция)	8	16	128	2,4	3,3	1,8	7,5	6,31	78,9

Примечание: Тчтения — чтение Parquet-файлов из MinIO; Тобработки — trim, resample, join, формирование признаков матрицы; TML — обучение ансамбля CatBoost + LightGBM с пятикратной кросс-валидацией; Тобщ. = Тчтения + Тобработки + TML — суммарное время полного прогона пайплайна, мин. Ускорение — относительно конфигурации C1 (один исполнитель); эффективность — отношение ускорения к числу исполнителей. C5 — конфигурация с фоновым резервным копированием и сбором метрик, эмулирующая продуктивную нагрузку. Снижение эффективности с 94 до 83% при росте числа исполнителей объясняется накладными расходами на сериализацию объектов и shuffle-обмен между этапами Spark. Источник: замеры на кластере Kubernetes v1.29 (8 серверов Dell PowerEdge R650).

Преимущество CatBoost над LightGBM и XGBoost — 0,02–0,04 ед. R², что согласуется с [7, 8]. Ансамбли деревьев — рабочая лошадка точного земледелия при умеренных выборках с неоднородными признаками и пропусками.

Производительность кластера. Нагрузочное тестирование — 1–8 узлов, полный проход по 4,2 ТБ / 12,8 млн записей с чтением из MinIO, формированием витрины признаков и обучением CatBoost + LightGBM с валидацией. Результаты — в табл. 3.

Ускорение 6,67× при 8 узлах (теор. 8) — потеря на shuffle Spark и Kafka; 83% — норма для пайплайнов больших данных [13]. В C5 — 78,9%: основная обработка конкурирует с фоновым backup за NVMe, требуется отдельный пул исполнителей.

CatBoost в классификации «норма/аномалия» по 14 параметрам: Accuracy = 0,898, AUC-ROC = 0,943, задержка 75 с. По культурам — пшеница 0,912 / F1 = 0,885; ячмень 0,899 / 0,872; кукуруза 0,891 / 0,861; рапс 0,883 / 0,847. Пшеница даёт лучший результат: сомкнутый полог с узкими листьями обеспечивает стабильный NDVI/NDRE без насыщения, пятна септориоза и ржавчины располагаются на верхних ярусах синхронно с фенологией. У рапса полог трёхмерный, пик отражения лепестков в 540–580 нм искажает NDVI; альтернариоз даёт мелкие пятна на разных ярусах, шум разметки выше [7, 8]. Из 240 уведомлений 12,5 % ложные, 60 % из них — рапс.

DNN 256/128/64 (R² = 0,83) проиграла бустингам (0,87–0,89) закономерно: 896 наблюдений,

34 признака, ~50 тыс. параметров сети — соотношение менее 1:1; глубокие модели (CNN, RNN, Transformer) выигрывают на пространственных и последовательных данных, а не на табличных. Преимущество CatBoost (+0,02–0,04 R²) — упорядоченный бустинг и категориальные признаки без one-hot [7, 8].

ИДК: урожайность — 0,86; диагностика — 0,82; аномалии — 0,79; среднее 0,82 против 0,65–0,78 в [3, 4].

Применимость и переносимость. R² = 0,89 получен при пятикратной кросс-валидации по 47 картам — характеризует перенос на новые поля того же хозяйства, но не на иные хозяйства или зоны. Проведено три теста.

— *Новые поля того же хозяйства* (7 карт, 180 га пшеницы): R² = 0,87, RMSE = 2,58 ц/га (–0,02 ед.). Без переобучения.

— *Новое хозяйство в той же зоне* (6 карт, 140 га, Сабинский район Республики Татарстан, серые лесные почвы): без переобучения R² = 0,81, RMSE = 3,12 ц/га (–0,08 ед.). Дообучение warm-start на 8 картах возвращает R² к 0,86 за 4,2 мин против 11,2 мин полного обучения. Минимум для калибровки — 8 карт совокупной площадью 240–280 га; при меньшем числе стандартное отклонение R² по 30 ресэмплам превышает 0,06.

— *Иная зона* (Краснодарский край, чернозёмы выщелоченные): R² = 0,54. Сдвиги распределений: влажность почвы +4,2% об., гумус +2,1–2,8%, температура в фазу налива +2,5–3,1 °C — бустинги такие сдвиги не экстраполируют. Требуется полное

переобучение на 25–30 картах, 700–900 га, либо мультидоменное обучение с признаком зоны.

Рекомендация: внутри одной зоны — дообучение CatBoost на 8–12 картах нового хозяйства за сезон без пересмотра архитектуры; при переходе в иную зону (чернозёмы, каштановые, серозёмные почвы) — полное переобучение и подтверждение порогов диагностики стрессов лабораторно по ГОСТ.

Ограничения. Серые лесные почвы лесостепи; на иные типы почв требуется переподготовка. Просо, гречиха и многолетние травы не апробированы — у них иная динамика NDVI и набор стрессов. CAPEX внедрения 28–34 млн руб. на 2850 га ориентирует платформу на крупные агрохолдинги [6]; для хозяйств 500–1000 га целесообразен облачный мультитенантный сценарий со снижением затрат на 50–60%.

Выводы/Conclusions

Разработанная многоуровневая платформа больших данных решает поставленную задачу интеллектуального контроля и диагностики параметров агроценозов: на массиве 4,2 ТБ из семи источников за 182 сут на 2850 га она обеспечивает прогноз урожайности яровой пшеницы с точностью $R^2 = 0,89$ (RMSE = 2,41 ц/га) и одновременную диагностику 14 параметров стрессовых состояний посевов с точностью 89,8 % при задержке 75 с от поступления сигнала до уведомления, что позволяет агроному принимать защитные и подкормочные решения внутри окна оперативного реагирования, а не post factum.

Из шести сопоставленных алгоритмов для табличных агроданных умеренного объема практически целесообразны градиентные бустинги: CatBoost даёт максимальную точность, превосходящую которой подтверждено критерием Фридмана ($\chi^2 = 18,71$, $p < 0,001$) и апостериорным

тестом Немени, тогда как LightGBM при потере всего 0,02 ед. R^2 обучается в 3,3 раза быстрее и предпочтителен в режиме регулярной переаттестации модели; полносвязные нейросети для данной структуры данных нецелесообразны.

Распределенная архитектура платформы обеспечивает производственную масштабируемость: рост числа Spark-исполнителей с 1 до 8 сокращает время полного прогона пайплайна с 47,3 до 7,1 мин при эффективности 83,4% (78,9% в режиме совмещения с фоновым резервным копированием), что означает возможность для хозяйства площадью до 3 тыс. га получать обновлённые карты прогноза и диагностики за время одного агрономического обхода поля. Интегральный индекс ИДК, объединяющий точность, ошибку и своевременность отклика, составил 0,82 — на 0,04–0,17 ед., что подтверждает практическую готовность платформы к внедрению в условиях лесостепной зоны с серыми лесными почвами.

Установлены количественные границы переносимости решения: внутри одной почвенно-климатической зоны платформа дообучается на 8–12 калибровочных картах нового хозяйства за один сезон без пересмотра архитектуры, тогда как при переходе в иную зону — на черноземные, каштановые или серозёмные почвы — необходимо полное переобучение модели на репрезентативной выборке 25–30 карт и лабораторное подтверждение порогов диагностики стрессов по соответствующим ГОСТ. Дальнейшие исследования направлены на расширение применимости платформы за пределы лесостепи и на включение в неё гиперспектральных сенсоров, датчиков летучих органических соединений для раннего выявления биотических стрессов до проявления визуальных симптомов, а также лидарной съёмки для прямой оценки биомассы вместо косвенной через вегетационные индексы.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счёт 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.

FUNDING

The research was carried out with the help of a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to higher education institutions, scientific and other organizations to support plans for the development of human resources in terms of stimulating their scientific and scientific-pedagogical staff to defend doctoral dissertations and carry out research work.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харченко К.В. Государственная поддержка цифровизации агро-сектора: текущая ситуация и перспективы. *Продовольственная политика и безопасность*. 2024; 11(3): 541–552. <https://doi.org/10.18334/ppib.11.3.121575>
2. Вострухин А.В., Мастепаненко М.А., Вахтина Е.А. Энергосберегающий асинхронный интерфейс для беспроводных датчиков. *Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика*. 2023; 63: 92–102. EDN MCGNMX
3. Monteiro A., Santos S., Gonçalves P. Precision Agriculture for Crop and Livestock Farming—Brief Review. *Animals*. 2021; 11(8): 2345. <https://doi.org/10.3390/ani11082345>

REFERENCES

1. Kharchenko K.V. State support for digitalization of the agricultural sector: current situation and outlook for the future. *Food Policy and Security*. 2024; 11(3): 541–552 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/ppib.11.3.121575>
2. Vostukhin A.V., Mastepanenko M.A., Vakhtina E.A. Power-saving asynchronous interface for wireless sensors. *Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*. 2023; 63: 92–102 (in Russian). EDN MCGNMX
3. Monteiro A., Santos S., Gonçalves P. Precision Agriculture for Crop and Livestock Farming—Brief Review. *Animals*. 2021; 11(8): 2345. <https://doi.org/10.3390/ani11082345>

4. Morchid A., El Alami R., Raezah A.A., Sabbar Y. Applications of Internet of Things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. *Ain Shams Engineering Journal*. 2024; 15(3): 102509. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102509>
5. Вострухин А.В., Мастепаненко М.А., Воротников И.Н., Вахтина Е.А. Алгоритм разработки программного обеспечения беспроводной системы мониторинга температуры сельскохозяйственных объектов. *Агроинженерия*. 2025; 27(1): 75–81. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-75-81>
6. Debauche O., Mahmoudi S., Manneback P., Lebeau F. Cloud and distributed architectures for data management in agriculture 4.0: Review and future trends. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2022; 34(9): 7494–7514. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.09.015>
7. Li M., Yan Y. Comparative Analysis of Machine-Learning Models for Soil Moisture Estimation Using High-Resolution Remote-Sensing Data. *Land*. 2024; 13(8): 1331. <https://doi.org/10.3390/land13081331>
8. Dhillon M.S. *et al.* Integrating random forest and crop modeling improves the crop yield prediction of winter wheat and oil seed rape. *Frontiers in Remote Sensing*. 2022; 3: 1010978. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.1010978>
9. Araújo S.O., Peres R.S., Barata J., Lidon F., Ramalho J.C. Characterising the Agriculture 4.0 Landscape—Emerging Trends, Challenges and Opportunities. *Agronomy*. 2021; 11(4): 667. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>
10. Галкин А.И. Применение технологий больших данных и нейронных сетей в целях оптимизации сельскохозяйственного производства. *Аграрная наука*. 2025; (2): 38–40. EDN UEWPMT
11. Димитров В.П., Борисова Л.В., Нурутдинова И.Н. Метод определения начальных значений регулируемых параметров жатвенной части зерноуборочного комбайна. *Инженерные технологии и системы*. 2022; 32(4): 552–566. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.552-566>
12. Костомакхин М.Н., Пестряков Е.В. Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(4): 19–25. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25>
13. Кузнецов П.Н., Котельников Д.Ю., Воронин Д.Ю. Технология автоматизированного мониторинга состояния виноградника. *Аграрная наука*. 2023; (3): 109–116. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-109-116>
14. Рогачев А.Ф., Мелихова Е.В. Мультиклассовое распознавание аэрофотоснимков участков сельскохозяйственных полей. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020; (3): 142–152. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-03-14>
15. Пестряков Е.В. Программное обеспечение для диагностирования и прогнозирования технического состояния сельскохозяйственных машин. *Техника и оборудование для села*. 2021; (12): 37–41. EDN NUTMPU
16. Павлова А.И. Агроэкологическая типизация сельскохозяйственных земель с применением методов машинного обучения, ГИС и ДДЗЗ. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(6): 72–88. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-960>
17. Васильев С.А., Лимонов С.Е., Мишин С.А. Интеллектуальная полевая сенсорная станция для мониторинга агрофизических параметров и фенотипирования в системе точного земледелия. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024; 18(4): 79–85. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-4-79-85>
18. Степных Н.В., Заргарян А.М. Геоинформационные технологии управления растениеводством. *Аграрный вестник Урала*. 2014; (7): 27–29. EDN SWEGEF
4. Morchid A., El Alami R., Raezah A.A., Sabbar Y. Applications of Internet of Things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges. *Ain Shams Engineering Journal*. 2024; 15(3): 102509. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102509>
5. Vostrukhin A.V., Mastepanenko M.A., Vorotnikov I.N., Vakhtina E.A. Algorithm of software development for a wireless system monitoring the temperature of agricultural premises. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025; 27(1): 75–81 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-75-81>
6. Debauche O., Mahmoudi S., Manneback P., Lebeau F. Cloud and distributed architectures for data management in agriculture 4.0: Review and future trends. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2022; 34(9): 7494–7514. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.09.015>
7. Li M., Yan Y. Comparative Analysis of Machine-Learning Models for Soil Moisture Estimation Using High-Resolution Remote-Sensing Data. *Land*. 2024; 13(8): 1331. <https://doi.org/10.3390/land13081331>
8. Dhillon M.S. *et al.* Integrating random forest and crop modeling improves the crop yield prediction of winter wheat and oil seed rape. *Frontiers in Remote Sensing*. 2022; 3: 1010978. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.1010978>
9. Araújo S.O., Peres R.S., Barata J., Lidon F., Ramalho J.C. Characterising the Agriculture 4.0 Landscape—Emerging Trends, Challenges and Opportunities. *Agronomy*. 2021; 11(4): 667. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>
10. Galkin A.I. Application of big data and neural network technologies for optimization of agricultural production. *Agrarian science*. 2025; (2): 38–40 (in Russian). EDN UEWPMT
11. Dimitrov V.P., Borisova L.V., Nurutdinova I.N. Method for Determining the Initial Values of the Adjustable Parameters of the Combine Harvester Cutting Unit. *Engineering Technologies and Systems*. 2022; 32(4): 552–566 (in Russian). <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202204.552-566>
12. Kostomakhin M.N., Pestryakov E.V. Software Package for Remote Diagnostics of Agricultural Machinery Condition. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(4): 19–25 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25>
13. Kuznetsov P.N., Kotelnikov D.Yu., Voronin D.Yu. Technology of automated monitoring of the vineyard condition. *Agrarian science*. 2023; (3): 109–116 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-109-116>
14. Rogachev A.F., Melikhova E.V. Multi-class recognition of aerial images of agricultural fields. *Proceedings of Nizhnevolskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education*. 2020; (3): 142–152 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-03-14>
15. Pestryakov E.V. Software for diagnosing and predicting the technical condition of agricultural machines. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021; (12): 37–41 (in Russian). EDN NUTMPU
16. Pavlova A.I. Agro-Ecological Classification of Agricultural Land using Machine Learning, GIS and Remote Sensing Data. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15(6): 72–88 (in Russian). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-960>
17. Vasilyev S.A., Limonov S.Ye., Mishin S.A. Intelligent Field Sensor Station for Monitoring Agrophysical Parameters and Phenotyping in Precision Agriculture System. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024; 18(4): 79–85 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-4-79-85>
18. Stepanykh N.V., Zargaryan A.M. Improving the competitiveness of crop production due to the differentiated application of and control of the consumption of resources. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (7): 27–29 (in Russian). EDN SWEGEF

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Рамил Рифатович Гибадуллин

кандидат технических наук
<https://orcid.org/0009-0009-4134-9480>
 torianin@mail.ru

Зумейра Мунировна Шакурова

кандидат педагогических наук, доцент
<https://orcid.org/0009-0009-4575-714X>
 shzumeyra@mail.ru

Казанский государственный энергетический университет,
 ул. Красносельская, 51, Казань, 420066, Россия

AUTHORS' INFORMATION

Ramil Rifatovich Gibadullin

Candidate of Engineering Sciences
<https://orcid.org/0009-0009-4134-9480>
 torianin@mail.ru

Zumeyra Munirovna Shakurova

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
<https://orcid.org/0009-0009-4575-714X>
 shzumeyra@mail.ru

Kazan State Power Engineering University,
 51 Krasnoselskaya st., Kazan, 420066, Russia